

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra demografie a geodemografie

Studijní program: Demografie



Mgr. Kateřina Podolská

**ŠIRŠÍ SOUVISLOSTI DOPADU SLUNEČNÍ AKTIVITY NA ÚMRTNOST
PODLE PŘÍČIN V ČESKÉ REPUBLICE**

The wider context of the impact of solar activity on mortality by cause
in the Czech Republic

Disertační práce

Vedoucí disertační práce: prof. RNDr. Jitka Rychtaříková, CSc.

Praha, 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci zpracovala samostatně, pod vedením školitelky Prof. RNDr. Jitky Rychtařkové, CSc., a že jsem všechny použité prameny řádně citovala. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 19. 2. 2018

.....
Kateřina Podolská

Ráda bych poděkovala vedoucí disertační práce paní prof. RNDr. Jitce Rychtařikové CSc. za nevšedně vstřícný přístup, cenné připomínky k práci, poskytnutá data, i porozumění pro toto mezioborové téma. Velké díky si zaslouží i moje rodina za dlouhodobou podporu, trpělivost a inspirující rozhovory o kontextech tématu práce. Můj dík patří i všem kolegům za četné odborné konzultace.

Širší souvislosti dopadu sluneční aktivity na úmrtnost podle příčin v České republice

Abstrakt

Předkládaná práce studuje vliv extraterestrických jevů v celé šíři jejich možného působení na lidskou populaci. Zabývá se jak dopadem změn klimatu indukovaných kolísáním sluneční aktivity na populaci, tak i vlivem koncentrace kosmogenních radionuklidů na lidské zdraví. V úvodu se práce věnuje popisu projevů sluneční aktivity na Zemi, shrnuje dosažené výsledky výzkumu a popisuje použité postupy zpracování dat i jejich zdroje.

Primárně se tato práce zaměřuje na *souvislost úmrtnosti na vybrané příčiny smrti* z tříd příčin smrti VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému podle 10. revize Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN-10) v České republice *a změn v úrovni sluneční aktivity a jejími výjimečnými výkyvy*. Hlavním cílem je zjistit možnou asociaci denních počtů zemřelých podle jednotlivých příčin smrti v členění podle pohlaví a věkových skupin v České republice na globálních i geograficky specifických denních hodnotách slunečních, ionosférických a geomagnetických parametrů metodami statistické analýzy mnohorozměrných dat v letech 1994–2013. Na základě výpočtů metodou *obecných lineárních regresních modelů* jsou zkonstruovány charakteristiky vystihující dopad sluneční aktivity na lidské zdraví ve sledovaném období.

V období sedmi silných slunečních bouří, které se vyskytly v letech 1994–2015, je provedena analýza denních počtů zemřelých na nemoci nervové soustavy a nemoci oběhového systému podle pohlaví a věkových skupin v České republice. Pro analýzu byla použita metoda *smíšených grafických modelů podmíněných nezávislostí*.

Další část práce shrnuje vliv Sluncem dotované radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost. Odhaduje změny v úrovni radiace z přírodního pozadí v období velmi nízké sluneční aktivity a jejich působení na výskyt onkologických onemocnění v populaci České republiky. Je vypočteno atributivní riziko přežití podle pohlaví pro tři scénáře úrovně radiace z přírodního pozadí. Součástí práce je také přehledová kapitola, která popisuje výsledky a metody historické klimatologie ve výzkumu z dochovaných písemných pramenů, geofyzikálních měření i proxy dat. Vysvětluje základní mechanismy působení sluneční aktivity na pozemské prostředí a lidskou populaci jako celek.

Klíčová slova: úmrtnost, příčiny smrti, sluneční aktivita

The wider context of the impact of solar activity on mortality by cause in the Czech Republic

Abstract

The presented dissertation investigates the influence of extraterrestrial phenomena, in the whole scope of their possible effects, on human population. It analyses the influence of climate-change induced fluctuation of solar activity on the population, as well as the impact of the concentration of cosmogenic radionuclides on human health. In the introduction, the manifestation of solar activity on Earth is described, the results of the present research is summarized, and the used methods of data processing and the data sources are described.

The primary focus of this work is the *association of mortality from the causes of death* recorded under chapter IV. Diseases of the nervous system and chapter IX. Diseases of the circulatory system of the International Classification of Diseases, 10th revision (ICD-10) in the Czech Republic *with the changes in the level of solar activity and its exceptional fluctuations*. The main aim is to determine the possible link between the daily numbers of dead by the respective causes of death, by sex and age groups in the Czech Republic, on global as well as on geographically specific daily values of solar, ionospheric, and geomagnetic parameters in the years 1994–2013. These are achieved by means of statistical analysis of multivariate data. Based on the calculations by the method of *general linear regression models*, characteristics of the influence of solar activity on human health for the analysed timeframe are obtained.

For the time period of seven strong solar storms, which occurred in the period 1994–2015, we performed an analysis of daily numbers of dead by diseases of the nervous system and diseases of circulatory system by sex and age groups in the Czech Republic. For this analysis, the method of *mixed graphic models of conditional independence* was employed.

The following part of the thesis summarizes the influence of the Sun-doped natural background dose radiation on human health and mortality. It estimates the changes in the levels of the dose of natural background radiation in the period of extremely low solar activity and their impact on the incidence of oncological diseases in the population of the Czech Republic. The lifetime attributable risks by sex induced by the annual dose of natural background radiation is calculated for three scenarios of radiation level. The summarizing chapter also describes the results and methods of historical climatology, based on analyses of written records, geophysical measurements, and proxy data. It explains the basic mechanisms of the impact of solar activity on the environment of Earth and on human population as a whole.

Keywords: mortality, causes of death, solar activity

OBSAH

Přehled použitých zkratk	9
Seznam tabulek	10
Seznam obrázků	13
Seznam příloh	17
1 Úvod do problematiky	18
1.1 Struktura a cíle práce.....	21
1.2 Datové soubory, data o úmrtnosti podle příčin a volba skupin	22
1.3 Použitá metodika.....	24
2 Popis sledovaných diagnóz	25
2.1 VI. Nemoci nervové soustavy	26
2.1.1 Parkinsonova nemoc (G20)	27
2.1.2 Alzheimerova nemoc (G30).....	28
2.1.3 Roztroušená skleróza - sclerosis multiplex (G35)	28
2.1.4 Epilepsie - padoucnice (G40).....	29
2.1.5 Mozková obrna (G80).....	29
2.2 IX. Nemoci oběhového systému	30
2.2.1 Akutní infarkt myokardu (I21).....	31
2.2.2 Pokračující infarkt myokardu (I22)	32
2.2.3 Plicní embolie (I26)	32
2.2.4 Blokáda atrioventrikulární a levého raménka (I44)	33
2.2.5 Srdeční zástava (I46)	33
2.2.6 Fibrilace a flutter síní (I48)	34
2.2.7 Jiné srdeční arytmie (I49)	34
2.2.8 Selhání srdce (I50)	34
2.2.9 Subarachnoidální krvácení (I60).....	35
2.2.10 Intracerebrální krvácení (I61)	35
2.2.11 Mozkový infarkt (I63)	36
2.2.12 Cévní příhoda mozková - mrtvice (I64).....	36

2.2.13 Jiná cévní onemocnění mozku (I67).....	37
3 Interakce geosféry se Sluncem.....	38
3.1 Indexy sluneční a geomagnetické aktivity	43
4 Klimatické důsledky změn sluneční aktivity	45
4.1 Klimatické změny a lidská populace.....	49
4.2 Klimatické změny pohledem environmentální historie	51
4.3 Historická klimatologie střední Evropy	54
4.4 Shrnutí výsledků	57
5 Sluncem dotovaná radiace z přírodního pozadí.....	58
5.1 Biologické účinky ionizujícího záření	61
5.2 Expozice z přírodního pozadí	62
5.3 Vliv radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost.....	64
5.4 Model absolutního a relativního rizika a výpočet atributivního rizika přežití	67
5.5 Shrnutí výsledků	73
6 Vliv magnetického pole na lidský organismus	74
6.1 Metoda grafických modelů podmíněných nezávislostí.....	77
6.2 Analýza deviance	79
6.3 Selekce modelu a popis výpočetní metody	81
6.4 Příklad výpočtu grafického modelu	82
6.5 Silné sluneční bouře v moderním období.....	85
6.6 Analýza změn denních počtů zemřelých během silných slunečních bouří	87
6.6.1 Bouře ze dne 2. 4. 2000	91
6.6.2 Bouře „Bastille Day Event“ ze dne 14. 7. 2000.....	95
6.6.3 Bouře „Halloween Solar Storms“ ze dne 28. 10. 2003.....	100
6.6.4 Bouře „St. Patrick's Day Event“ ze dne 17. 3. 2015	104
6.6.5 Bouře ze dne 7. 1. 1997	108
6.6.6 Bouře ze dne 7. 9. 2005	112
6.6.7 Bouře ze dne 17. 3. 2013	117
6.7 Porovnání s obdobími nízké sluneční aktivity	122
6.7.1 Období nízké sluneční aktivity 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996	125
6.7.2 Období nízké sluneční aktivity 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008	127
6.7.3 Období nízké sluneční aktivity 31. 7. 2009 – 31. 8. 2009	130
6.8 Shrnutí výsledků	133
7 Rizikové charakteristiky podle fyzikálního působení sluneční aktivity	135
7.1 Obecné lineární regresní modely	135

7.2 Shrnutí výsledků	142
8 Závěr	143
Glosář některých geofyzikálních pojmů	159
Zdroje dat.....	163
Přílohy	164

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

COMESSEP	COronal Mass Ejections and Solar Energetic Particles
COSPAR	Committee on Space Research
EAR	Excess Absolute Risk
ERR	Excess Relative Risk
ESA	European Space Agency
F10.7	Solar Radio Flux
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IRI	International Reference Ionosphere
IRIS	Software pro automatizované kódování v neanglicky mluvících zemích
KP	Kennzahl planetar Index
LAR	Life Attributive Risk
LSS	Life Span Study
MKN-10	10. revize mezinárodní klasifikace nemocí a souvisejících zdravotních problémů
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRC	National Research Council of the National Academies
NSSDC	National Space Science Data Center
NGDC	National Geophysical Data Centre
SEP	Solar Energetic Particle Environment Modelling
SEP	Solar Energetic Particle
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
TEC	Total Electron Content
UNSCEAR	Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
URSI	International Union of Radio Science
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR
WDC-A	World Data Center A for STP
WDC-C1	World Data Centre C1 for STP
WDA-ENLIL	World Data Center A

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015 na diagnózy vyřazené z analýzy	25
Tabulka 2	Počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015 ve skupinách příčin smrti VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému.....	26
Tabulka 3	Parkinsonova nemoc (G20), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	27
Tabulka 4	Alzheimerova nemoc (G30), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	28
Tabulka 5	Roztroušená skleróza (G35), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	29
Tabulka 6	Epilepsie (G40), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	29
Tabulka 7	Mozková obrna (G80), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	29
Tabulka 8	Akutní infarkt myokardu (I21), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	32
Tabulka 9	Pokračující infarkt myokardu (I22), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015.....	32
Tabulka 10	Plicní embolie (I26), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	33
Tabulka 11	Blokáda atrioventrikulární a levého raménka (I44), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	33
Tabulka 12	Srdeční zástava (I46), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	33
Tabulka 13	Fibrilace a flutter síní (I48), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	34
Tabulka 14	Jiné srdeční arytmie (I49), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	34
Tabulka 15	Selhání srdce (I50), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	35
Tabulka 16	Subarachnoidální krvácení (I60), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	35

Tabulka 17	Intracerebrální krvácení (I61), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	35
Tabulka 18	Mozkový infarkt (I63), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	36
Tabulka 19	Cévní příhoda mozková (I64), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	36
Tabulka 20	Jiná cévní onemocnění mozku (I67), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015	37
Tabulka 21	Tabulka ročních dávek z radiace z přírodního pozadí.....	64
Tabulka 22	Parametry ERR a EAR modelu pro incidenci a úmrtnost na solidní nádory indukované expozicí radiační dávkou	68
Tabulka 23	Odhad atributivního rizika přežití C18,C34,C18 věk při expozici 10 a 30 let, počty případů na 100 000 osob exponovaných dávkou 100 mSv v České republice	71
Tabulka 24	Počty případů incidence a úmrtí na některé solidní nádory v České republice na 100 000 osob exponovaných dávkou v mSv	72
Tabulka 25	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000	95
Tabulka 26	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervového systému (G00–G99), 2.3.2000–2.5.2000.....	95
Tabulka 27	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 14.6.2000–14.8.2000	98
Tabulka 28	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000	99
Tabulka 29	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 28.9.2003–28.11.2003	103
Tabulka 30	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 28.9.2003–28.11.2003	104
Tabulka 31	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2015–17.4.2015	108
Tabulka 32	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 17.2.2015–17.4.2015	108
Tabulka 33	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.12.1996–7.2.1997	112
Tabulka 34	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 7.12.1996–7.2.1997	112
Tabulka 35	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.8.2005–7.10.2005	116
Tabulka 36	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 7.8.2005–7.10.2005	116
Tabulka 37	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2013–17.4.2013	121

Tabulka 38	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 17.2.2013–17.4.2013	121
Tabulka 39	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), v obdobích nízké sluneční aktivity	124
Tabulka 40	Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), v obdobích nízké sluneční aktivity	124
Tabulka 41	Výpočet osvitové délky dne pro měsíce v roce	137
Tabulka 42	Výsledky obecného lineárního regresního modelu s parametry sluneční a geomagnetické aktivity, 1994–2013, muži	139
Tabulka 43	Výsledky obecného lineárního regresního modelu s parametry sluneční a geomagnetické aktivity, 1994–2013, ženy	139
Tabulka 44	Výsledky výpočtu modelů s parametry rizikových charakteristik pro vybrané příčiny smrti v období let 1994–2015	140

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Standardizované míry úmrtnosti, nemoci nervové soustavy (G00-G99), (na 100 000 osob), 1994–2014.....	27
Obrázek 2	Standardizované míry úmrtnosti, nemoci oběhového systému (I00-I99), (na 100 000 osob), 1994–2014.....	30
Obrázek 3	Měsíční počty zemřelých na příčiny smrti I21 a I64 v letech 1994–2000.....	31
Obrázek 4	Měsíční počty zemřelých dle věku a pohlaví na I21 na přelomu let 1996/1997	32
Obrázek 5	Měsíční počty zemřelých dle věku a pohlaví na I64 na přelomu let 1996/1997	37
Obrázek 6	Predikční model heliosféry po sluneční erupci.....	39
Obrázek 7	Průběh slunečních cyklů během sledovaného období let 1994 – 2015	40
Obrázek 8	Četnosti slunečních erupcí (flares) v období let 1997 – 2017	41
Obrázek 9	Počty geomagnetických bouří v období let 1994 – 2017.....	41
Obrázek 10	Sluneční vítr deformuje tvar magnetosféry Země	42
Obrázek 11	Základní součásti a vazby v systému Slunce-Země	46
Obrázek 12	Propojení systému Ionosféra–termosféra	47
Obrázek 13	Srovnání rekonstrukce průměrných měsíčních počtů slunečních skvrn	48
Obrázek 14	Dva pohledy na stejné panorama v Alpách (jihozápadní Švýcarsko Val de Bagnes).....	53
Obrázek 15	Průměrné roční expozice obyvatel a roční dávky z kosmického záření	60
Obrázek 16	Minulé sluneční cykly č. 19–24 a projekce následujících slunečních cyklů	63
Obrázek 17	Velikost radiační dávky v závislosti na vzdálenosti od epicentra použité v LSS ...	65
Obrázek 18	Lineární model relativního rizika výskytu solidních nádorů indukovaných radiací	66
Obrázek 19	Zvýšení počtu nádorů v závislosti na hodnotě kolektivní efektivní dávky.....	67
Obrázek 20	Odhady převýšení relativních rizik solidních nádorů z chronické expozice 1 Sv ve věku 10, 20 a 30+ let, ČR.....	70
Obrázek 21	Odhady převýšení absolutních rizik solidních nádorů z chronické expozice 1 Sv ve věku 10, 20 a 30+ let, ČR.....	70
Obrázek 22	Komplexita proudů v magnetosféře a ionosféře kolem Země	75
Obrázek 23	Zdroje magnetického pole na povrchu Země	76
Obrázek 24	Testování grafického modelu pomocí deviance	80
Obrázek 25	Příklad kompletního a minimalizovaného grafu 30 dní před a po sluneční bouři Bastille Day Event., 14. 7. 2000.....	84

Obrázek 26 Ionosférická odezva sluneční bouře a průběh v klidovém stavu, VLF měření v D-vrstvě.....	87
Obrázek 27 Výrazné sluneční bouře ve sledovaném období let 1994 – 2015	88
Obrázek 28 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 2.3.2000–02.5.2000.....	91
Obrázek 29 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000.....	92
Obrázek 30 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000.....	93
Obrázek 31 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 2.3.2000–2.5.2000.....	94
Obrázek 32 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 2.3.2000–2.5.2000.....	94
Obrázek 33 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 14.6.2000–14.8.2000.....	96
Obrázek 34 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 14.6.2000–14.8.2000.....	97
Obrázek 35 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 14.6.2000–14.8.2000.....	97
Obrázek 36 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000.....	98
Obrázek 37 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000.....	98
Obrázek 38 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 28.09.2003–28.11.2003.....	100
Obrázek 39 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 28.9.2003–28.11.2003.....	101
Obrázek 40 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 28.9.2003–28.11.2003.....	102
Obrázek 41 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 28.9.2003–28.11.2003.....	102
Obrázek 42 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 28.9.2003–28.11.2003.....	103
Obrázek 43 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 17.2.2015–17.4.2015.....	105
Obrázek 44 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2015–17.4.2015.....	106
Obrázek 45 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2015–17.4.2015.....	106
Obrázek 46 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2015–17.4.2015.....	107

Obrázek 47 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 17.2.2015–17.4.2015.....	107
Obrázek 48 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 7.12.1996–7.2.1997.....	109
Obrázek 49 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.12.1996–7.2.1997.....	110
Obrázek 50 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), 7.12.1996–7.2.1997.....	110
Obrázek 51 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 7.12.1996–7.2.1997.....	111
Obrázek 52 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 7.12.1996–7.2.1997.....	111
Obrázek 53 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 7.8.2005–7.10.2005.....	113
Obrázek 54 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.8.2005–7.10.2005.....	114
Obrázek 55 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), 7.8.2005–7.10.2005.....	114
Obrázek 56 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 7.8.2005–7.10.2005.....	115
Obrázek 57 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 7.8.2005–7.10.2005.....	115
Obrázek 58 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 17.2.2013–17.4.2013.....	117
Obrázek 59 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2013–17.4.2013.....	119
Obrázek 60 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), 17.2.2013–17.4.2013.....	119
Obrázek 61 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2013–17.4.2013.....	120
Obrázek 62 Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 17.2.2013–17.4.2013.....	120
Obrázek 63 Počty dní ve sledovaném období s nulovým počtem slunečních skvrn.....	122
Obrázek 64 Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 13.9.1996–24.10.1996.....	125
Obrázek 65 Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 13.9.1996–24.10.1996.....	125
Obrázek 66 Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), období 13.9.1996 – 24.10.1996.....	126
Obrázek 67 Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 13.9.1996–24.10.1996.....	126

Obrázek 68	Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), období 13.9.1996–24.10.1996.....	127
Obrázek 69	Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 21.7.2008–20.8.2008.....	127
Obrázek 70	Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 21.7.2008–20.8.2008.....	128
Obrázek 71	Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), období 21.7.2008–20.8.2008.....	128
Obrázek 72	Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 21.7.2008–20.8.2008.....	129
Obrázek 73	Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), období 21.7.2008–20.8.2008.....	129
Obrázek 74	Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 31.7.2009–31.8.2009.....	130
Obrázek 75	Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 31.7.2009–31.8.2009.....	130
Obrázek 76	Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), období 31.7.2009–31.8.2009.....	131
Obrázek 77	Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 31.7.2009–31.8.2009.....	131
Obrázek 78	Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), období 31.7.2009–31.8.2009.....	132
Obrázek 79	Osvitová situace během roku pro 50° severní šířky.....	137

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Roční počty zemřelých podle vybraných příčin smrti v období let 1994–2015 ..	164
Příloha 2	Grafy ročních počtů zemřelých podle vybraných příčin smrti v období let 1994–2015	165
Příloha 3	Korelační diagramy pro období silných slunečních bouří	175
Příloha 4	Korelační diagramy pro období nízké sluneční aktivity	203

Kapitola 1

Úvod do problematiky

Sluneční aktivita má zásadní vliv na pozemské prostředí, ve kterém žije lidská populace. Na Slunci je závislá celá biosféra Země, protože většina energie ve sluneční soustavě, na Zemi i v jejích ekosystémech, pochází z její centrální hvězdy, ze Slunce. Sluneční záření bylo klíčové pro evoluci života na Zemi prostřednictvím primordiální syntézy molekul i mutací indukovaných ultrafialovým a gama zářením.

Primární vliv na biosféru má Slunce prostřednictvím světelného a tepelného záření. Biologické účinky jsou podmíněny absorpcí světelné energie v chromatoforech, látkách v organismech schopných světelné záření přijímat (např. hemoglobin). Zemské ekosystémy ovšem sluneční záření ovlivňuje v celém rozsahu spektra od rentgenového záření (s vlnovou délkou <10 nm), přes viditelné světlo (390–760 nm), po radiové záření (s vlnovou délkou >1 mm). Kromě primárních vlivů ovšem působí na biosféru i druhotné vlivy jako například změny klimatu, změny elektrického pole mezi ionosférou a povrchem Země a změny magnetosféry Země.

Slunce nedodává Zemi pouze energii, důležité je, že tato energie má nízkou entropii¹ (Penrose, 2013). Fotony dopadající ze Slunce na denní straně na zemský povrch mají vyšší energii než ty, které ji na noční straně opouštějí. Z toho, že se Země výrazně nezahřívá, plyne, že vyzařuje více fotonů s delší vlnovou délkou, než pohlcuje. Přicházející energie má tedy nižší entropii než odcházející. To je možné jen díky tomu, že Slunce je žhavý objekt na jinak temné obloze.

Zelené rostliny na Zemi procesem fotosyntézy přeměňují fotony ultrafialového záření ze Slunce na fotony s nižší energií. Rozdílu v entropii tak používají k výstavbě vlastních organismů. Další články potravního řetězce pak využívají zelené rostliny jako vlastní zdroj entropie. Proto, také lidská populace může prostřednictvím zelených rostlin udržovat svou entropii na nízké hodnotě. Živé organismy, ekosystémy a celá biosféra mají totiž základní termodynamickou vlastnost vytvářet a udržovat si stav vnitřního uspořádání, tedy nízkou entropii.

Tento rovnovážný stav může být narušen zvnějšku změnami zdroje energie - jímž je Slunce - zevnitř antropogenními vlivy. Působení těchto faktorů na klima může mít mnohdy nečekané

¹Termodynamická entropie je veličina míry neuspořádanosti fyzikálního systému. Její růst zpravidla určuje směr fyzikálního procesu ve sledované soustavě.

důsledky. Dlouhodobé i krátkodobé periodicity ve sluneční aktivitě měly vliv na sekulární změny klimatu, malé doby ledové a malá klimatická optima².

Biosféru ovlivňuje i sluneční záření v neviditelné části spektra, tedy ultrafialové, rentgenové, radiové a korpuskulární³. Intenzita slunečního záření v těchto částech spektra velmi výrazně kolísá v rámci periodických změn sluneční aktivity. Přímé fyzikální působení vysokoenergetického slunečního záření má globální dopad na všechny živé organismy, lidské zdraví i technická zařízení na Zemi zejména při slunečních erupcích. Pro nalezení souvislostí těchto jevů je nutné se zaměřit na fyzikální mechanismy působení Slunce na Zemi a popis tohoto systému. Zdroje periodicity sluneční aktivity jsou fyzikálně velmi různorodé a při jejich interpretaci není možné se soustředit jen na jejich jednoduše pozorovatelné projevy v současnosti. Ze znalosti základních principů periodicity sluneční aktivity je pak možná její zpětná rekonstrukce a následná projekce jejího budoucího vývoje.

Vysokoenergetické sluneční záření působí i změny genetické informace bakterií a virů a může tak teoreticky měnit epidemiologickou situaci. Moderní léčebné postupy a vakcinace dnes řadu infekčních chorob potlačily a snížily i úmrtnost na jejich následky. Na jejich šíření mají ale stále vliv změny klimatu, které s úrovní sluneční aktivity souvisí. Jako jeden z prvních se tomuto výzkumu věnoval Reinhold von Reiter, který v roce 1955 publikoval matematicky exaktní studii *Bio-meteorologie auf physikalischer basis* (Reiter, 1955), o souvislosti klimatu a změn v organismech.

Šíření nakažlivých chorob bylo v minulosti úzce spjato s demografickými krizemi. Téma úlohy klimatu v šíření nakažlivých chorob v práci *Les hommes et la peste en France et dans les pays européens et méditerranéens* zmiňuje Jean-Noël Biraben (Biraben, 1975).

Vztahu mezi šířením moru a klimatem v českých zemích v období let 1346–1419 se věnoval Eduard Maur v práci *Příspěvek k demografické problematice předhusitských Čech* (1346–1419). Předpokládá, že období mírných a vlhkých zim a teplá a vlhká léta podporovaly šíření epidemie, zatímco v letech se suchými a horkými léty a tuhými zimami se šíření zastavovalo. Ovšem vlastní mechanismus periodicit vzplanutí a vyhasínání morových epidemií dosud neznáme (Maur, 1989). Tyto aspekty byly studovány mnoha autory také u epidemií skvrnitého tyfu, cholery mezi lety 1715–1850 a pandemie moru v letech 1347–1715 (Brázdil, Kotyza, 2001).

Medicínské výzkumy na velkých skupinách pacientů trpících mozkovými, nervovými a srdečními chorobami prokázaly vliv elektromagnetického záření o kmitočtu 4 kHz až 50 kHz na akutní stav pacientů (Johnsen, 2005), (Otsuka et al., 2000) a (Azcátare et al., 2016). Tyto jevy ovlivňují i organismus zcela zdravých lidí. Ve dnech magnetických bouří se mění srážlivost a sedimentace krve i puls. Ovlivněna je zejména nervová soustava, krevní oběh a hormonální činnost. Jak ukázal již Norbert Wiener koncem 50. let 20. století (Wiener, 1958), elektromagnetickým polem lze přímo působit na nervovou soustavu člověka. Ženy vykazují mnohem větší citlivost na tyto změny než muži. U pacientů byly sledovány neuropsychologické

² Období střídajících se chladnějších a teplejších klimatických epizod.

³ Sluneční záření je elektromagnetické záření s různou vlnovou délkou a intenzitou, které určují i jeho chování při průchodu různými prostředími. Podle těchto hodnot mluvíme např. o ultrafialovém, rentgenovém nebo rádiovém záření. Sluneční záření má i korpuskulární složku, která je tvořena proudem částic, např. elektronů, protonů, neutronů a jader atomů.

obtíže vlivem rychlých změn elektromagnetického pole. Působení vysokoenergetického slunečního záření v době slunečních bouří má měřitelný dopad na živé organismy včetně člověka (Katsavrias et al., 2013).

Pokusy také potvrdily změny v kardiogramech vyšších živočichů pod vlivem dynamických změn elektromagnetického pole, kterému byli vystaveni. Změny v zemském magnetickém a elektrickém poli se projevují na srdeční a nervové činnosti i u člověka (Cornelissen, 2002).

K významným výsledkům patří práce Eliahu Stoupela. V monografii „*Forecasting in cardiology*“ (Stoupel, 1976) autor detailně popisuje kontury vlivu kosmických parametrů na výskyt onemocnění oběhového systému. Později se v práci zabýval korelací kosmických fyzikálních parametrů a měsíčních počtů zemřelých na kardiovaskulární onemocnění z dat hospitalizovaných osob v období let 1974–1988, tedy během 21. slunečního cyklu (Stoupel, 1991). Autoři našli pro toto období pozitivní korelaci s kosmickým zářením a negativní korelaci se sluneční aktivitou. Geomagnetická aktivita podle této studie sehrává jen minimální roli. Tyto výsledky pak Stoupel upřesnil a doplnil o dlouhodobější studii v článku „*The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters*“ (Stoupel, 2002).

Další rozsáhlou studií byla práce tohoto týmu, kde byla mapována závislost mezi měsíčním počtem zemřelých podle některých skupin příčin úmrtí, včetně vnějších, odděleně pro muže a ženy na kosmickém záření a geomagnetické aktivitě na území Litvy a Izraele v období let 1990–2004 (Stoupel, 2004). Výsledky pro obě populace Litvy i Izraele byly podobné. Byla nalezena pozitivní souvislost mezi měsíční řadou zemřelých na kardiovaskulární a cévní nemoci a kosmickým zářením a negativní korelace se sluneční aktivitou.

Tyto výsledky byly potvrzeny i v novější práci Elisy Ebrille aj. (2015). Dopad narušení geomagnetického pole je závislý také na okamžité polaritě magnetického pole Slunce (Mavromichalaki et al., 2016) a mění se podle fáze a průběhu slunečního cyklu. Některé poznatky navíc naznačují (Vencloviene et al., 2013, 2016), že dopad sluneční aktivity na lidské zdraví je závislý také na intenzitě slunečních událostí vyskytujících se během daného období pozorování.

Již delší dobu je znám také účinek radiového záření, které obecně není považováno za škodlivé, na obsluhu radarů. Muži dlouhodobě vystavení mikrovlnnému radiovému záření mají více potomků ženského pohlaví, než by odpovídalo sekundárnímu indexu maskulinity srovnatelné populace (Edwards, 1962).

Další skupinou rizik je účinek slunečního vysokoenergetického záření a Sluncem dotovaných radionuklidů⁴ v životním prostředí prostřednictvím poškození DNA. Na lidskou populaci i ostatní živé organismy mají velký vliv také kosmogenní radionuklidy v životním prostředí. Tyto účinky jsou děleny na *stochastické*, které jsou bezprahové a s expozicí u nich neroste závažnost, ale pravděpodobnost poškození. Z hlediska jednotlivce roste s dávkou záření pravděpodobnost vzniku nádoru, nikoliv intenzita či stupeň účinku. Naopak *deterministické* účinky záření mají prahovou hodnotu, nad kterou roste závažnost poškození lineárně. Při expozici konkrétní dávkou je lze účinek jednoznačně určit. Intenzita projevů a jejich zdravotní závažnost je tedy závislá na obdržené dávce radiace. Deterministické účinky se zpravidla projevují při vyšších radiačních

⁴ Radionuklidy vznikají v atmosféře Země vlivem její interakce s kosmickým zářením. Jejich koncentrace je negativně korelována se sluneční aktivitou.

dávkách. Účinek radionuklidů v životním prostředí dotovaných sluneční aktivitou na živé organismy je vzhledem k malým dávkám z této radiace stochastický (Bencko, 2002). Kosmogenní a Sluncem dotované radionuklidy přispívají 8 % do celkové radiační zátěže obyvatelstva (Kuna, 2005). V porovnání s významnějšími zdroji radiační zátěže je tato dávka nepatrná, ale lidská populace je jí vystavována dlouhodobě.

1.1 Struktura a cíle práce

Cílem této práce je podrobná analýza vlivu extraterestrických jevů u nichž se předpokládá dopad na lidské zdraví. Práce je rozdělena do kapitol podle identifikovaného typu působení těchto jevů. Zabývá se jak dopadem změn klimatu indukovaných kolísáním sluneční aktivity na lidskou populaci, tak vlivem koncentrace kosmogenních radionuklidů na lidské zdraví.

Práce se primárně zaměřuje na úmrtnost na civilizační a degenerativní choroby. Hlavním předmětem zájmu je analýza vztahů mezi úmrtností na vybrané příčiny smrti z tříd příčin smrti 10. revize Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN-10) VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému v České republice v období let 1994–2013 a parametrů sluneční a geomagnetické aktivity v tomto období. Cílem je zjistit možnou asociaci denních počtů zemřelých podle jednotlivých příčin smrti v členění podle pohlaví a věkových skupin v České republice na globálních i geograficky specifických parametrech sluneční a geomagnetické aktivity za použití metod statistické analýzy mnohorozměrných dat.

Dalším cílem je analýza změn v denních počtech zemřelých na nemoci nervové soustavy a nemoci oběhového systému podle pohlaví a věkových skupin v České republice v období silných slunečních bouří, které se vyskytly v letech 1994–2015 a jejich asociace se změnami sluneční a geomagnetické aktivity během těchto bouří.

Úvodní část práce se věnuje popisu působení různých projevů sluneční aktivity na Zemi, na lidské zdraví, i lidskou populaci obecně. Shrnuje dosažené výsledky výzkumu, které se tomuto tématu věnovaly. Jsou v ní popsány použité postupy zpracování dat a popsány jejich zdroje. Je zde také uvedena použitá metodika a stručně popsány metody statistické analýzy užitě v práci.

Další část práce popisuje studované diagnózy a specifika dat analyzovaných příčin smrti ve sledovaném období. Věnuje se některým aspektům jejich možného zkreslení vlivem změn v registraci dat o zemřelých, dlouhodobých trendů i krátkodobých a sezónních změn.

V následující části práce je podán stručný přehled výsledků a metod historické klimatologie. Text shrnuje metody výzkumu úrovně sluneční aktivity v posledních 1 500 letech jak fyzikálními metodami výzkumu, tak z dochovaných písemných pramenů. Jsou vysvětleny základní mechanismy působení sluneční aktivity na pozemské prostředí a lidskou populaci. Stručně jsou popsány projekce nastávajících slunečních cyklů, podle kterých je pravděpodobné, že jsme na začátku dalšího dlouhodobého minima sluneční aktivity. Součástí práce je také glosář, ve kterém jsou vysvětleny některé geofyzikální pojmy použité v textu.

Další část práce shrnuje vliv Sluncem dotované radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost. Odhaduje změny v úrovni radiace z přírodního pozadí v období velmi nízké sluneční aktivity a jejich vlivem na výskyt onkologických onemocnění v populaci České republiky.

Část práce s klíčovými výsledky se zabývá vlivem rychlých změn zemského magnetického pole během silných slunečních bouří na lidský organismus. Analýza je provedena na denních agregovaných počtech zemřelých na nemoci nervové soustavy a nemoci oběhového systému podle pohlaví a věkových skupin v České republice, v období nejvýraznějších sedmi slunečních bouří, které se vyskytly v letech 1994–2015. Pro zjištění možného dopadu silných slunečních bouří na změny v denních počtech zemřelých byla použita data z období let 1994–2015 a metoda *smíšených grafických modelů podmíněných nezávislostí*. Tyto změny v období slunečních bouří jsou porovnány se třemi obdobími, ve kterých byla sluneční aktivita nízká, a nevyskytly se žádné sluneční bouře. Aplikována je klasická korelační analýza i pravděpodobnostní modely využívající grafovou reprezentaci.

Poslední část práce se pak zabývá výsledky analýzy asociace dlouhodobých časových řad denních počtů zemřelých podle pohlaví a věkových skupin v České republice s denními hodnotami slunečních, ionosférických a geomagnetických parametrů sluneční aktivity. Vliv sluneční aktivity na změny v počtu zemřelých je sledován během dvou cyklů sluneční aktivity (sluneční cykly č. 23 a č. 24) v období let 1994–2013. Na základě výpočtů metodou *obecných lineárních regresních modelů* jsou zkonstruovány charakteristiky vystihující dopad sluneční aktivity na lidské zdraví ve sledovaném období se zohledněním sezónní insolace ve středních šířkách.

1.2 Datové soubory, data o úmrtnosti podle příčin a volba skupin

Pro analýzu bylo zvoleno období let 1994–2013 (resp. 2015 pro silné sluneční bouře) pokrývající dobu platnosti 10. revize MKN v České republice a zároveň 3 cykly sluneční aktivity číslo 22–24. Analyzovány byly denní řady agregovaných počtů zemřelých podle jednotlivých příčin smrti z tříd MKN-10 VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému. Pro odhad vlivu změn radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost byly vzhledem k charakteristice působení zvolena incidence a počty zemřelých na nejpočetnější onkologické diagnózy ze skupiny II. Novotvary v České republice v období let 2009–2011. Toto období bylo zvoleno jako tři po sobě následující roky v minimu sluneční aktivity na počátku slunečního cyklu číslo 24.

Práce se v částech věnovaných vlivu změn slunečních, geomagnetických a ionosférických parametrů zaměřuje na nejpočetnější příčiny smrti ve skupině VI. nemoci nervové soustavy příčiny smrti: G20 Parkinsonova nemoc, G21 Sekundární parkinsonismus, G30 Alzheimerova nemoc, G35 Roztroušená skleróza, G40 Epilepsie a G80 Mozková obrna. Ve skupině IX. nemoci oběhového systému příčiny smrti: I21 Akutní infarkt myokardu, I26 Plicní embolie, I44 Blokáda atrioventrikulární a levého raménka, I46 Srdeční zástava, I48 Fibrilace a flutter síní, I50 Selhání srdce, I60 Subarachnoidální krvácení, I61 Intracerebrální krvácení, I63 Mozkový infarkt, I64 Cévní příhoda mozková, I67 Jiná cévní onemocnění mozku. Analyzovány jsou i celkové denní počty zemřelých v obou skupinách VI. a IX. jako celku. Pro tyto diagnózy jsou v předchozích pracích řešitelky (Podolská, 2013) identifikovány činitele, které mohly registraci ovlivnit. Podrobně jsou jednotlivé diagnózy popsány v kapitole 2.

Data o zemřelých jsou v práci diferencována podle pohlaví a věku. V práci jsou uvažovány dvě věkové skupiny, do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let. Tyto skupiny byly zvoleny s ohledem na počty zemřelých ve skupinách, věková a pohlavní specifika výskytu těchto onemocnění a trend výskytu onemocnění podle věku.

Údaje z anonymizovaných individuálních záznamů o zemřelých podle jednotlivých příčin smrti byly získány ze specifických datových zdrojů ČSÚ. Statistika počtu zemřelých podle individuálních příčin smrti může být ovlivněna metodikou kódování choroby, která iniciovala řetězec chorobných stavů přímo vedoucích ke smrti a to v rámci jedné revize v souvislosti s aktualizacemi, resp. dalšími faktory. Analyzované řady počtu zemřelých jsou v rámci jedné revize MKN platné v České republice od 1. 1. 1994. Od tohoto data proběhly následující změny: Je to zejména od 1. 1. 2009 platné 2. vydání MKN-10 s aktualizací z let 2004–2008. Od 1. 1. 2011 jsou do statistiky zemřelých podle příčin smrti zahrnuty aktualizace MKN-10 vyhlášené SZO s účinností od roku 2010. Od roku 2011 se výběr základních příčin smrti v České republice provádí pomocí programu pro automatizované kódování (IRIS), což zlepšilo kvalitu dat, ale zároveň vedlo k přesunům mezi jednotlivými diagnózami.

V programu SAS 9.4 byla vytvořena relační databáze denních hodnot v letech 1994–2015 ze slunečních, ionosférických a geomagnetických parametrů (relativní číslo slunečních skvrn R , intenzita radiového toku Slunce $F10,7$, míra fluktuací vodorovné složky geomagnetického pole Kp , stupeň narušení magnetického pole Země Dst , $PF30$ sluneční protonový tok $>30\text{MeV}$ a kritická frekvence ionosférické F2 vrstvy f_oF2). Měření obsahu volných elektronů v ionosféře (TEC) jsou z datového úložiště Institut Geographique National dostupná od roku 1998. Z dalších datových center jsou dostupná měření od roku 1994. Hodnoty TEC jsou systematicky získávána z měření družic GPS. Data, která popisují sluneční aktivitu, byla importována z mezinárodních datových úložišť a databází.

Časové řady geomagnetických údajů byly importovány z World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University v Japonsku a Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Helmholtz-Zentrum, Potsdam v Německu. Indexy sluneční aktivity byly importovány z interaktivní databáze OMNIWEB system NASA Goddard Space Flight Center v USA. Údaje o sluneční aktivitě a slunečních bouřích byly rovněž importovány z Deutsches GeoForschungsZentrum a NWRA CoRA, NorthWest Research Associates, Boulder v USA.

Hodnoty slunečního protonového toku $PF30$ s energií nad 30 MeV jsou použita z měření geosynchronní družice GOES. Pro jednotlivé roky v časové řadě byla užita data z družic: GOES 7, 1995; GOES 8, 1996–2002; GOES 10, 2003; GOES 11, 2004–2010 a GOES 13, od roku 2011 dále. Ionosférické parametry jsou v této práci použity z databáze UK Solar System Data Centre (UKSSDC), Rutherford Appleton Laboratory v Oxfordshire ve Velké Británii a Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR), National Geophysical Data Center v Boulderu v USA. V analýze jsou použita měření parametru f_oF2 z ionosondy JR055 Juliusruh/Rugen, která dostatečně pokrývají sledované časové období. Globální mapy obsahu volných elektronů v ionosféře (TEC) byly importovány z datového úložiště Institut Geographique National (IGN) ve Francii. Z těchto map byly extrahovány údaje pro území České republiky.

Takto vytvořená databáze byla spojena s denními agregovanými počty zemřelých na vybrané jednotlivé příčiny smrti podle pohlaví a dvou zvolených věkových skupin. Podrobné umístění datových zdrojů je uvedeno v sekci *Zdroje dat*.

1.3 Použitá metodika

Podrobný popis metodiky je uveden v jednotlivých tematických kapitolách. V části práce, která se věnuje účinkům rychlých změn zemského magnetického pole během silných slunečních bouří na lidský organismus, jsou analyzovány časové řady denních agregovaných počtů zemřelých na nemoci nervové soustavy a nemoci oběhového systému v České republice podle pohlaví a věkových skupin. Jak již bylo uvedeno v popisu dat, analyzováno je sedm silných slunečních bouří v období let 1994–2015, vždy 30 dní před a 30 dní po výskytu sluneční bouře. Tyto změny v období slunečních bouří jsou porovnány se třemi obdobími, ve kterých byla sluneční aktivita nízká, a nevyskytly se žádné sluneční bouře. Aplikována je zde korelační analýza a metoda *smíšených grafických modelů podmíněných nezávislostí*. Metoda grafických modelů podmíněných nezávislostí byla k analýze zvolena jako robustní metoda mnohorozměrné statistické analýzy, která identifikuje struktury podmíněných závislostí v souborech dat, včetně časových řad různých typů proměnných pomocí grafové reprezentace. *Smíšené grafické modely podmíněných nezávislostí* kombinují časové řady proměnných různých typů. Modelování podmíněných nezávislostí je provedeno pomocí modelů s neorientovanými grafy. Cílem výpočtu je popsat strukturu podmíněných nezávislostí v množině časových řad pomocí vhodného grafického modelu pro časové řady denních počtů zemřelých na analyzované příčiny smrti ve sledovaném období.

K analýze dlouhých časových řad denních počtů zemřelých za celé sledované období byla aplikována metoda obecných regresních modelů. Asociace dlouhodobých časových řad denních počtů zemřelých podle pohlaví a věkových skupin v České republice s denními hodnotami slunečních, ionosférických a geomagnetických parametrů sluneční aktivity byla zjišťována během dvou cyklů sluneční aktivity (sluneční cykly č. 23 a č. 24) v období let 1994–2013. Na základě výpočtů metodou *obecných lineárních regresních modelů* byly zkonstruovány rizikové charakteristiky podle fyzikálního působení vystihující dopad sluneční aktivity na lidské zdraví ve sledovaném období. Pro sestavení těchto charakteristik byla zohledněna délka sezónní insolace ve středních zeměpisných šířkách.

Účinky Sluncem dotované radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost jsou odvozeny z odhadu změn v úrovni radiace z přírodního pozadí v období velmi nízké sluneční aktivity a jejich vlivu na výskyt onkologických onemocnění v populaci České republiky.

V popisu působení změn klimatu indukovaných různou úrovní sluneční aktivity v dlouhodobém pohledu jsme vycházeli z dostupné odborné literatury o tomto tématu, včetně sociologických studií. V této kapitole tedy pracujeme s mezioborovými prameny z historické klimatologie a environmentální historie. Popsány jsou i postupy odhadu úrovně sluneční aktivity v historických dobách z proxy dat.

Kapitola 2

Popis sledovaných diagnóz

Práce se zaměřuje zejména na úmrtnost na civilizační a degenerativní choroby. Působení vysokoenergetického slunečního záření a změn magnetického pole v době slunečních bouří má měřitelný dopad na živé organismy včetně člověka (Katsavrias et al., 2013). Studie také u pacientů potvrdily změny v kardiogramech a vyšší četnost hospitalizací na akutní infarkt myokardu vlivem dynamických změn geomagnetického pole (Cornelissen, 2002).

Hlavním předmětem zájmu této disertační práce je analýza asociace mezi úmrtností na vybrané nejpočetnější příčiny smrti z tříd příčin smrti 10. revize Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN-10) VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému v České republice v období let 1994–2013 (resp. 2015 pro silné sluneční bouře) a parametrů sluneční a geomagnetické aktivity.

Ze skupiny VI. nemoci nervové soustavy příčiny smrti: G20 Parkinsonova nemoc, G21 Sekundární parkinsonismus, G30 Alzheimerova nemoc, G35 Roztroušená skleróza, G40 Epilepsie a G80 Mozková obrna. Ze skupiny IX. nemoci oběhového systému příčiny smrti: I21 Akutní infarkt myokardu, I26 Plicní embolie, I44 Blokáda atrioventrikulární a levého raménka, I46 Srdeční zástava, I48 Fibrilace a flutter síní, I50 Selhání srdce, I60 Subarachnoidální krvácení, I61 Intracerebrální krvácení, I63 Mozkový infarkt, I64 Cévní příhoda mozková, I67 Jiná cévní onemocnění mozku. Diagnózy s velmi nízkým denním počtem zemřelých, které byly z analýzy vyřazeny na základě statistických testů, jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 – Celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015 na diagnózy vyřazené z analýzy

		Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+	Celkem
I44	Blokáda atrioventrikulární	3	207	3	179	392
G21	Sekundární parkinsonismus	4	242	0	180	426
G31	Jiné degenerativní nemoci ns	36	525	44	512	1 117
G80	Mozková obrna	333	56	245	44	678

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Pro analýzu asociace denních počtů zemřelých v době výjimečných slunečních bouří byly použity agregované denní počty zemřelých v obou skupinách VI. a IX. jako celku. Celkové počty zemřelých ve skupinách příčin smrti VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového

systému v České republice v období let 1994–2015 jsou v členění dle věku a pohlaví uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 – Počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015 ve skupinách příčin smrti VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému

VI. nemoci nervové soustavy					IX. nemoci oběhového systému				
Rok	Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+	Rok	Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
1994	116	372	75	460	1994	324	29 488	119	35 201
1995	111	398	94	510	1995	313	30 068	147	35 423
1996	123	411	96	470	1996	279	28 728	99	34 039
1997	126	435	78	574	1997	227	28 830	123	34 154
1998	109	435	75	578	1998	231	27 192	112	32 862
1999	102	509	68	583	1999	226	27 032	105	32 923
2000	112	573	70	703	2000	211	26 257	77	31 647
2001	107	676	67	821	2001	215	25 497	90	31 602
2002	128	770	73	843	2002	202	25 450	100	31 400
2003	128	844	75	1 010	2003	210	25 900	91	31 864
2004	95	837	68	975	2004	216	24 703	91	30 032
2005	115	854	68	1 034	2005	194	24 379	84	30 498
2006	94	819	57	1 075	2006	190	23 620	101	28 649
2007	90	514	43	608	2007	172	23 392	56	28 844
2008	81	530	47	620	2008	166	23 366	71	28 677
2009	74	436	50	529	2009	148	23 903	76	29 973
2010	62	436	29	537	2010	169	23 963	69	29 389
2011	94	894	48	1 096	2011	195	23 926	83	28 521
2012	110	1 082	43	1 287	2012	179	24 000	85	28 782
2013	88	1 075	43	1 395	2013	176	23 525	79	27 951
2014	70	1 143	53	1 398	2014	168	22 321	67	26 071
2015	81	1 260	42	1 636	2015	178	23 247	80	27 464
Celkem	2 216	15 303	1 362	18 742	Celkem	4 589	558 787	2 005	675 966

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

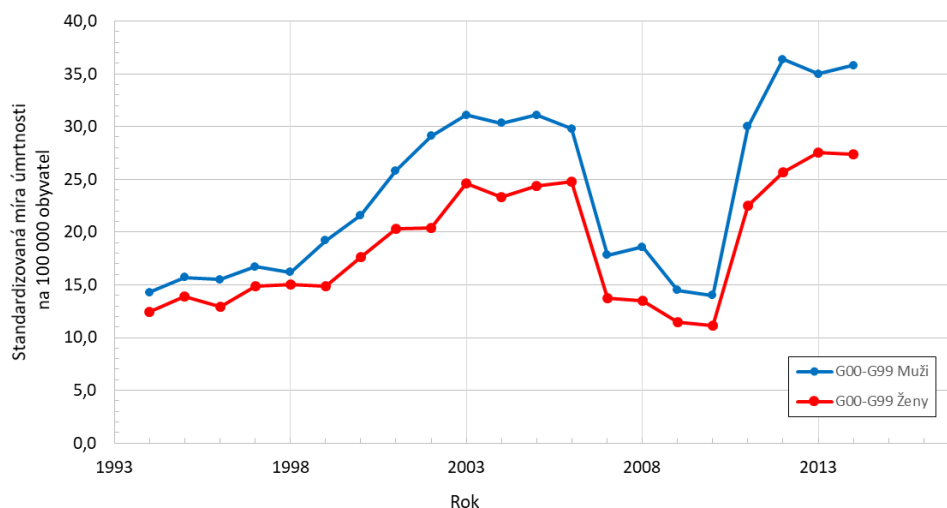
Pro odhad vlivu změn radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost byly vzhledem k charakteristice působení zvolena incidence a počty zemřelých na nejpočetnější onkologické diagnózy ze skupiny II. Novotvary v České republice v období nižší sluneční aktivity. Zhoubné novotvary způsobují přibližně čtvrtinu úmrtí v České republice. Jsou druhou nejčastější příčinou smrti po kardiovaskulárních onemocněních. Standardizovaná úmrtnost na zhoubné novotvary mírně klesá i přes rostoucí incidenci těchto onemocnění (ČSÚ, 2015b).

2.1 VI. Nemoci nervové soustavy

Nemoci nervové soustavy byly do analýzy zařazeny proto, že geomagnetické bouře ovlivňují nervovou soustavu živočichů, a tedy i člověka. Působí i na krevní oběh a hormonální činnost. Rychlé změny elektromagnetického pole mohou u neurologických pacientů způsobovat neuropsychologické obtíže, projevují se i na srdeční a nervové činnosti člověka (Cornelissen,

2002). Se stárnutím populace je velmi pravděpodobné, že se bude zvyšovat incidence neurodegenerativních chorob. Vývoj standardizovaných měr úmrtnosti pro skupinu příčin smrti IX. nemoci oběhového systému ve sledovaném období jsou znázorněny na obrázku 1.

Obrázek 1 – Standardizované míry úmrtnosti, nemoci nervové soustavy (G00-G99) podle MKN-10, (na 100 000 osob), 1994–2014



Poznámka: Pro standardizaci byl Eurostatem použit nový standard evropské populace, Eurostat 2013.

Zdroj: Eurostat, (Eurostat, 2015).

Z grafu je viditelné, že ve skupině VI. nemoci nervové soustavy se míry úmrtnosti výrazně změnily v časových úsecích 1994–2006, 2007–2010 a 2011–2013. Důvodem diskontinuity byly změny kódovací praxe. Tento průběh ovlivňovala zejména registrace zemřelých na Parkinsonovu nemoc (G20) a Alzheimerovu nemoc (G30), viz příloha 2.

2.1.1 Parkinsonova nemoc (G20)

Parkinsonova nemoc je chronické progresivní neurologické onemocnění, které se objevuje ve všech věkových skupinách kromě dětí a mladistvých. Mezi 50. až 70. rokem života je ale diagnostikován nejvyšší počet případů. Onemocnění vzniká degenerativním zánikem jader mozkového kmene. Geneticky podmíněno je přibližně 10 % onemocnění (Seidl, Obenberger, 2004). Parkinsonova nemoc zatím není léčitelná a nelze ani zpomalovat její rozvoj. Jedinou léčebnou možností je tlumení jejích projevů farmakologickými, rehabilitačními a neurochirurgickými prostředky, což vede ke zlepšení kvality života pacientů (Nevšimalová, Růžička, Tichý, 2002). V akutních stavech Parkinsonovy nemoci se často vyskytují nehybné krize, zhoršení stability, psychóza, delirium a deprese. Celkové počty zemřelých na Parkinsonovu nemoc podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 – Parkinsonova nemoc (G20), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
1	2 209	1	1 520

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.1.2 Alzheimerova nemoc (G30)

Alzheimerova nemoc je podobně jako Parkinsonova nemoc chronické, progresivní onemocnění nervové soustavy. Je v České republice nejčastější příčinou demence středního a vyššího věku. Incidence Alzheimerovy nemoci s věkem stoupá exponenciálně (mezi 65 a 74 lety je její incidence 3 %, mezi 75 a 84 lety 19 % a po 85. roce věku 47%). Prevalence Alzheimerovy nemoci v populaci České republiky je 1 %, je příčinou přibližně 60 % demencí (Nevšimalová, Růžicka, Tichý, 2002). Vzhledem k prodlužování naděje dožití je tak významným zdravotnickým, ale i socioekonomickým problémem.

Příčinou vzniku Alzheimerovy nemoci je degenerativní zánik neuronů s patologickými změnami v mozkové tkáni. Jako rizikový faktor je udáván věk, diagnóza Alzheimerovy nemoci nebo Downův syndrom v rodině, ženské pohlaví a nízké vzdělání. Jednou z diskutovaných příčin vzniku je ukládání špatně svinutých bílkovin v mozkové tkáni způsobené změnami proteinů v enzymech (Ambler, 2006). Na vzniku neurodegenerativních onemocnění, kam patří například Alzheimerova choroba a další, se mohou podílet drobné částice magnetitu, které do lidského mozku pronikají ze znečištěného ovzduší (Maher et al., 2016). Velmi malé nanočástice magnetitu pronikají dýchacími cestami do nosu a pak nervovým systémem do mozkové kůry a reagují na magnetické pole. Nanočástice magnetitu vznikající ve spalovacích motorech jsou podle studie (Maher et al., 2016) jedním z důležitých rizikových faktorů rozvoje neurodegenerativních onemocnění.

S Alzheimerovou nemocí se v roce 2000 léčilo v České republice šedesát tisíc osob (Seidl, Obenberger, 2004). U pacientů není postižena jen paměť, ale i další kognitivní a exekutivní funkce. Dochází ke změně osobnosti, emočním poruchám, mohou se objevit i svalové křeče a epileptické záchvaty. Příznakem jsou i poruchy cyklu spánku a bdění. Po západu Slunce trpí pacienti zmateností, v noci se budí a vstávají ve velmi časných hodinách, to je spojeno se spánkem ve dne. Alzheimerova nemoc má progresivní charakter a končí ve většině případů smrtí. Doba přežití pacientů od diagnostikování nemoci je průměrně 5–8 let. Navazující příčiny smrti jsou zápal plic a úrazy (Ambler, 2006). Celkové počty zemřelých na Alzheimerovu nemoc podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 – Alzheimerova nemoc (G30), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
3	5 049	2	10 071

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.1.3 Roztroušená skleróza - sclerosis multiplex (G35)

Roztroušená skleróza je autoimunitní onemocnění bílé hmoty centrálního nervového systému. Začíná nejčastěji mezi 20. a 30. rokem, ale může se objevit již v dětském věku. Postihuje dvakrát častěji ženy než muže, což se vysvětluje hormonálními vlivy na imunitní systém (Nevšimalová, Růžicka, Tichý, 2002).

Až 85 % případů zpočátku má zpočátku průběh střídáním tzv. atak a remisí a po vyčerpání rezerv nervového systému je průběh chronicko-progresivní, tj. ubývá atak a narůstá invalidita.

Přibližně 15 % případů v České republice má progresivní průběh (Seidl, Obenberger, 2004). Celkové počty zemřelých na roztroušenou sklerózu podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 – Roztroušená skleróza (G35), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
60	800	92	1 342

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.1.4 Epilepsie - padoucnice (G40)

Epilepsie je onemocnění centrálního nervového systému s opakovanými záchvaty přechodné mozkové dysfunkce (Ambler, 2006). Tyto záchvaty jsou zapříčiněny výboji mozkových neuronů. Výskyt v populaci České republiky je 3–5 %, u dětí do 15 let věku 0,5–1 % (Seidl, Obenberger, 2004).

Typické pro epilepsii je opakování epileptických záchvatů. Začátek záchvatu je náhlý, vůlí neovlivnitelný, projevuje se změnou jednání, chování a změnami pohybových schopností. Asi 0,5 % populace České republiky trpí opakovanými epileptickými záchvaty. K prvnímu záchvatu u 75 % epileptiků dojde většinou ve věku do 20 let. V současné době je možná chirurgická i konzervativní léčba (Nevšimalová, Růžička, Tichý, 2002). Celkové počty zemřelých na epilepsii podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 – Epilepsie (G40), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
560	1 238	284	682

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.1.5 Mozková obrna (G80)

Dětská mozková obrna je nenakažlivé nedědičné onemocnění, které vzniká poškozením mozkové tkáně vlivem nedostatku kyslíku. Typické jsou poruchy vývoje motorických oblastí mozku nebo jejich poškození v raném stádiu vývoje. Důsledkem jsou zejména vážné poruchy hybnosti. První příznaky choroby se většinou objeví po půlroce života. Mozková obrna není léčitelná a má traumatický charakter (Nevšimalová, Růžička, Tichý, 2002).

Celkové počty zemřelých na mozkovou obrnu podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce *Tabulka 7*.

Tabulka 7 – Mozková obrna (G80), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

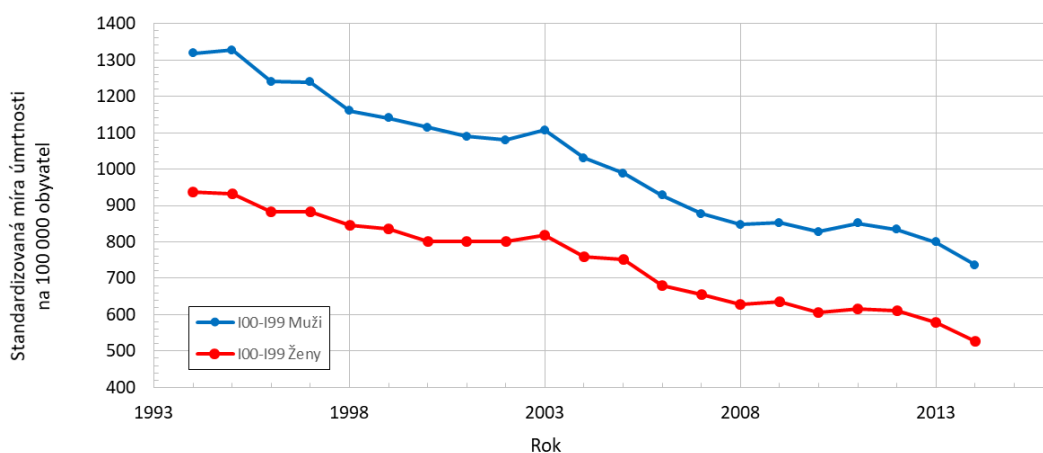
Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
333	56	245	44

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2 IX. Nemoci oběhového systému

Úmrtnost na nemoci oběhového systému klesala v rozvinutých zemích již od začátku šedesátých let minulého století. Pokles úmrtnosti na tyto příčiny v České republice se začal projevovat až na úplném konci osmdesátých let. V devadesátých letech byl tento pokles velmi výrazný a s menší dynamikou trvá dosud. Standardizovaná úmrtnost na nemoci oběhového systému poklesla v letech 1989–2007 u mužů o 66,2 %, u žen o 65,5 % (Bruthans, 2009). Vývoj standardizovaných měr úmrtnosti pro skupinu příčin smrti IX. nemoci oběhového systému ve sledovaném období let 1994–2014 jsou znázorněny na obrázku 2.

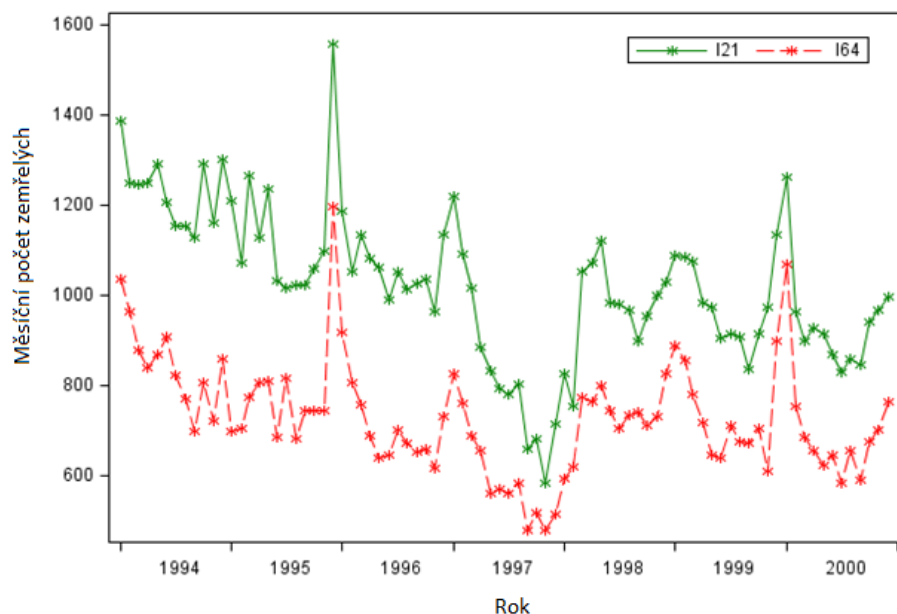
Obrázek 2 – Standardizované míry úmrtnosti, nemoci oběhového systému (I00-I99) podle MKN-10, (na 100 000 osob), 1994–2014



Poznámka: Pro standardizaci byl Eurostatem použit nový standard evropské populace, Eurostat 2013.

Zdroj: Eurostat, (Eurostat, 2015).

Pokles úmrtnosti na nemoci oběhového systému je vysvětlován poklesem incidence onemocnění vlivem úspěšné prevence. Kardiovaskulární prevence se v České republice výrazně zefektivnila, usuzuje se tak podle poklesu výše krevního tlaku, počtu vyléčené hypertenze a poklesu LDL cholesterolu u populace České republiky (Cífková, 2008). Dalším důvodem je pokles úmrtnosti na tato onemocnění v důsledku moderní léčby. V léčbě cévních mozkových příhod se i přes výrazně lepší diagnostiku a modernizaci intenzivní péče nedošlo zatím ke kvalitativním změnám srovnatelným s léčbou akutního koronárního syndromu (Bruthans, 2009). Úmrtnost na cévní mozkové příhody se i přesto dramaticky snížila. Na tomto trendu se nejvýrazněji podílí snížení krevního tlaku v populaci, lepší kontrola hypertenze a snížení hladin LDL cholesterolu v populaci. Dále pak intenzivnější sekundární prevence a moderní léčba fibrilace síní (srdeční arytmie). (Cífková, 2008), (Bruthans, 2009). Ve vývoji měsíčních počtů zemřelých na akutní infarkt myokardu (I21) a cévní příhodu mozkovou (I64) adjustovaných na počet dní v měsíci v letech 1994–2000 (Obrázek 3) jsou viditelné výkyvy v těchto počtech, zejména na přelomu let 1996/1997 a 2000/2001. Tyto výkyvy zřejmě nesouvisely s kódovací praxí ani epidemiologickou situací a v denní časové řadě nejsou identifikovatelné.

Obrázek 3 – Měsíční počty zemřelých na příčiny smrti I21 a I64 v letech 1994 – 2000

Poznámka: I21 Akutní infarkt myokardu, I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice).

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Na cévní onemocnění mozku umíral ve sledovaném období vyšší počet žen. Důvodem je zřejmě, že se ženy dožívají vyššího věku. S rostoucím věkem počet zemřelých na cévní onemocnění mozku exponenciálně stoupá, 90 % zemřelých umírá ve věku 65 a více let. (Bruthans, 2009). Prevalence cévní mozkové příhody se však ve sledovaném období v České republice nesnížila.

2.2.1 Akutní infarkt myokardu (I21)

Hlavní příčinou infarktu myokardu je náhlé přerušení přívodu krve do části srdečního svalu. Dochází k němu náhlým uzávěrem srdeční tepny vznikem krevní sraženiny. Další příčinou může být vmetek krevní sraženiny, která vznikla v jiném místě cévního řečiště. Následkem ucpání koronární tepny může být až úplná zástava oběhu (Janský, 2003).

Infarkt myokardu se vyskytuje častěji u mužů než u žen, u mužů je nejvíce onemocnění ve věku nad 50 let, u žen nad 60 let. Onemocnění se vyskytuje i v nižších věkových skupinách. Akutní infarkt myokardu je infarkt, který pacienta přímo ohrožuje na životě. Při akutním infarktu myokardu je v koronárních tepnách více uzávěrů nebo se uzávěr nachází v místě nad větvením koronární tepny. V obou případech je rozsah poškození srdečního svalu mnohem větší (Chrobák et al., 2007).

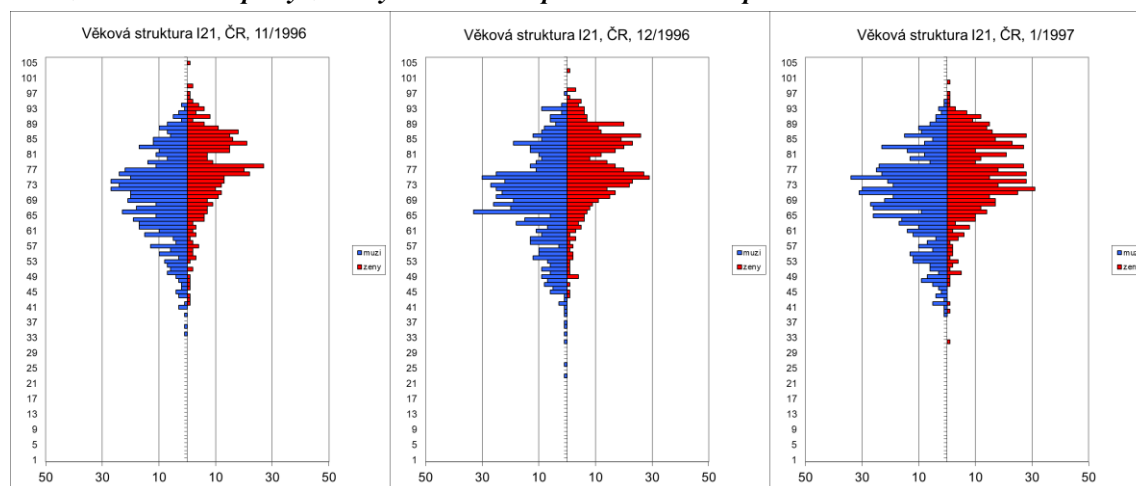
Rizikovými faktory pro vznik infarktu myokardu je kouření, zvýšená hladina tuků v krvi, zvýšený krevní tlak, vrozená zátěž, obezita, zvýšená srážlivost krve a cukrovka. Dalším rizikovým faktorem je stres, chlad, fyzická zátěž nebo změna počasí (Chrobák et al., 2007). Celkové počty zemřelých na akutní infarkt myokardu podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 – Akutní infarkt myokardu (I21), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
796	109 522	143	82 535

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

V počtu zemřelých na akutní infarkt myokardu docházelo v druhé polovině 90. let u akutního infarktu myokardu k výkyvům v měsíčních počtech zemřelých, například na přelomu let 1997/1996, obrázek 3. Věková struktura počtu zemřelých podle pohlaví v listopadu 1996, prosinci 1996 a lednu 1997 se výrazně neměnila, obrázek 4. V denní časové řadě tyto výkyvy nejsou identifikovatelné.

Obrázek 4 – Měsíční počty zemřelých dle věku a pohlaví na I21 na přelomu let 1996/1997

Poznámka: počty zemřelých v listopadu 1996, prosinci 1996 a lednu 1997.

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.2 Pokračující infarkt myokardu (I22)

Celkové počty zemřelých na pokračující infarkt myokardu podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 9. Tato příčina smrti je kauzálně spojena se stavy souvisejícími s diagnózou akutní infarkt myokardu (I21).

Tabulka 9 – Pokračující infarkt myokardu (I22), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
2	1 242	1	885

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.3 Plicní embolie (I26)

Plicní embolie je ucpání krevního řečiště plic vmetkem nejčastěji z dolní končetiny. Základní příčinou je u této diagnózy ukládání cholesterolu do stěny tepny. Postupné zvětšování tukového plátu zužuje její průsvit tepny a to pak způsobuje potíže při námaze nazývané angina pectoris. Tvorba sraženiny nastává nejčastěji v klidu, často ve spánku (Chrobák et al., 2007). Rizikovými faktory jsou stres, chlad, fyzická zátěž, změna počasí, delší pobyt na lůžku s nedostatečným pohybem dolních končetin, úraz, obezita, těhotenství, kombinace hormonální antikoncepce a

kouření, aplikace diuretik, maligní tumory a žilní trombózy. Projevem je náhlá dušnost, bolest na hrudi a kašel. Postihne-li větší oblast plic, dojde k poklesu krevního tlaku, šoku a následné smrti (Chrobák et al., 2007).

Celkové počty zemřelých na plicní embolii podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 – Plicní embolie (I26), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
254	13 814	207	19 431

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.4 Blokáda atrioventrikulární a levého raménka (I44)

Atrioventrikulární blokáda je porucha srdečního rytmu, jejímž podkladem je porušené vedení vzruchu ze srdečních předsíní na komory. Při těžším stupni blokády tak dochází k narušení koordinace stahu předsíní a komor (Klener, 2006).

Nemocní trpící atrioventrikulární blokádou mají dvojnásobně zvýšené riziko vzniku fibrilace síní a trojnásobné riziko rozvoje atrioventrikulární blokády vyššího stupně. Prognóza nemocných s vyšším stupněm atrioventrikulární blokády závisí na včasnosti a účinnosti léčby (Horký, 2005). Celkové počty zemřelých na blokádu atrioventrikulárního a levého raménka podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 – Blokáda atrioventrikulární a levého raménka (I44), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
254	13 814	207	19 431

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.5 Srdeční zástava (I46)

Srdeční zástava je definována jako úmrtí z kardiální příčiny s předchozí ztrátou vědomí u zemřelých bez dříve známého onemocnění srdce. Srdeční zástava je onemocnění s vysokou závažností způsobenou zejména rychlým průběhem a obtížnou prevencí. Ve většině případů je prvním projevem ischemické choroby srdeční nebo akutního infarktu myokardu.

Další nejpočetnější příčinou jsou funkční a anatomické abnormality srdce a cév (Klener, 2006). Celkové počty zemřelých na srdeční zástavu podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 – Srdeční zástava (I46), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
179	6 527	80	6 530

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.6 Fibrilace a flutter síní (I48)

Fibrilace a flutter síní je nejčastějším typem srdeční arytmie. Příčinou je abnormální šíření srdečních elektrických vzruchů srdečními předsíněmi, při kterém dochází k rychlým stahům srdečních předsíní. Důsledkem jsou chaotické, nepravidelné stahy svalových vláken, což působí ztrátu koordinované činnosti srdečních předsíní projevující se rychlým srdečním pulzem (Horký, 2005). Výskyt stoupá s věkem pacienta. Mezi 60 a 70 lety se objevuje v některé své formě u 5 % lidí, u pacientů nad 80 let již u více než 10 % populace. Výskyt fibrilace síní má v posledních desetiletích rostoucí trend. Je pravděpodobné, že stoupající výskyt souvisí se stárnutím populace a delším přežitím pacientů se srdečními nemocemi (Klener, 2006).

Medicínské studie zjistily zvýšené riziko výskytu arytmie u pacientů s vysokým krevním tlakem, cukrovkou, obezitou, metabolickým syndromem či poruchami dýchání ve spánku (Chrobák et al., 2007). Pacienti s fibrilací síní mají dvojnásobně vyšší úmrtnost než srovnatelní nemocní. Prognóza nemoci je velmi výrazně ovlivněna typem léčby. Celkové počty zemřelých na fibrilace a flutter síní podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13 – Fibrilace a flutter síní (I48), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
2	2 076	1	3 666

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.7 Jiné srdeční arytmie (I49)

Poruchy srdečního rytmu, tedy arytmie, jsou nejčastějším onemocněním srdce. Jsou důsledkem narušení vedení elektrických vzruchů v převodním systému srdce (Klener, 2006). Celkové počty zemřelých na jiné srdeční arytmie podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 – Jiné srdeční arytmie (I49), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
28	1 177	23	1 295

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.8 Selhání srdce (I50)

Selhání srdce srdeční onemocnění, u kterého přes dostatečné plnění komor klesá odtok krve a srdce nepokrývá metabolické potřeby tkání (přívod kyslíku a živin a odstraňování oxidu uhličitého a metabolických zplodin). Incidence tohoto onemocnění je v populaci 1–2 %, vyskytuje se ve vyšších věkových skupinách, průměrný věk pacientů je přibližně 75 let. Průměrná doba přežití je u mužů 3,2 roku, u žen 5,4 roku (Chrobák et al., 2007). U mužů je výskyt srdečního selhání vyšší než u žen, které od stanovení diagnózy přežívají déle.

Rizikové faktory jsou téměř identické jako u ischemické choroby srdeční, zejména kouření, vysoký krevní tlak, zvýšení hladiny krevního cholesterolu, cukrovka, nadměrná konzumace alkoholu, záněty srdečního svalu a syndrom spánkové apnoe. Na zlepšení úmrtnosti na tuto diagnózu se rovněž podílí zejména moderní metody léčby (Bruthans, 2009). Celkové počty zemřelých na selhání srdce podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 – Selhání srdce (I50), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
528	22 034	237	24 344

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.9 Subarachnoidální krvácení (I60)

Subarachnoidální krvácení patří mezi cévní mozkové příhody. Příčinou onemocnění je uzavřená mozková tepna. Hemoragické mozkové příhody se dělí na dvě částečně společně se vyskytující skupiny: krvácení intracerebrální a krvácení subarachnoidální či intraventrikulární, rozlišeno je v I60–I67 (Chrobák et al., 2007). Cévní mozkové příhody jsou druhou nejčastější příčinou úmrtí v České republice. Celkové počty zemřelých na subarachnoidální krvácení podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16 – Subarachnoidální krvácení (I60), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
246	1 912	208	2 861

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.10 Intracerebrální krvácení (I61)

Intracerebrální krvácení je způsobeno akutními traumatickými hematomy, tedy poraněním mozku. Projevuje se zpočátku krátkými obdobími zmatenosti nebo ztrátou vědomí. Léčí se většinou konzervativně nebo neurochirurgickým odstraněním. Délka přežití je závislá na lokalizaci a rozsahu krvácení, po kterém obvykle zůstává místní neurologické postižení (Ambler, 2006).

Celkové počty zemřelých na intracerebrální krvácení podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17 – Intracerebrální krvácení (I61), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
256	13 857	142	12 831

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.11 Mozkový infarkt (I63)

Mozkový infarkt je nejčastější ischemickou cévní mozkovou příhodou v České republice a tvoří 80 % cévních mozkových příhod. Jeho příčinou je trombóza nebo embolie. Míra incidence mozkového infarktu je v České republice dvakrát vyšší než je průměr v zemích Evropské unie (Bruthans, 2009).

Úmrtnost je od poloviny 90. let úspěšně snižována nitrožilním rozpouštěním krevní sraženiny, které obnovuje průtok uzavřené mozkové tepny. Úspěšně je také využívána metoda mechanického zprůchodnění tepny. Nezbytnou součástí léčby akutní fáze onemocnění je léčba na specializovaných jednotkách intenzivní péče (Kalita, 2006). Celkové počty zemřelých na mozkový infarkt podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 – Mozkový infarkt (I63), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
83	22 124	59	30 732

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.12 Cévní příhoda mozková - mrtvice (I64)

Cévní příhoda mozková - mrtvice je zpravidla způsobena prasknutím cévy v mozku. Ve většině případů je indukována vysokým krevním tlakem a trombózou vzniklou z aterosklerózy mozkových tepen. Při rozsáhlejším krvácení dochází velmi rychle k mozkovému otoku a v tomto důsledku ke smrti pacienta. Krvácení do mozku způsobuje neurologické příznaky, které jsou komplikovány působením krevních sraženin. Krevní sraženina reaguje s mozkomíšními tekutinami, což je následným rizikem, protože se projeví až s 10. denním zpožděním. Neurologické postižení pak prudce zhorší stav pacienta (Nevšimalová, Růžička, Tichý, 2002).

Cévní mozková příhoda je léčena většinou nitrožilním rozpouštěním krevní sraženiny. Používá se i chirurgická léčba pro urychlení obnovy krevního zásobování v postižené části mozku (Kalita, 2006). Výskyt cévní příhody mozkové se v populaci České republiky zvyšuje asi o 1–1,5 % ročně. Příčinou je stárnutí obyvatelstva a častější výskyt mozkového infarktu u lidí ve středním věku.

Tabulka 19 – Cévní příhoda mozková (I64), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
54	50 813	27	81 651

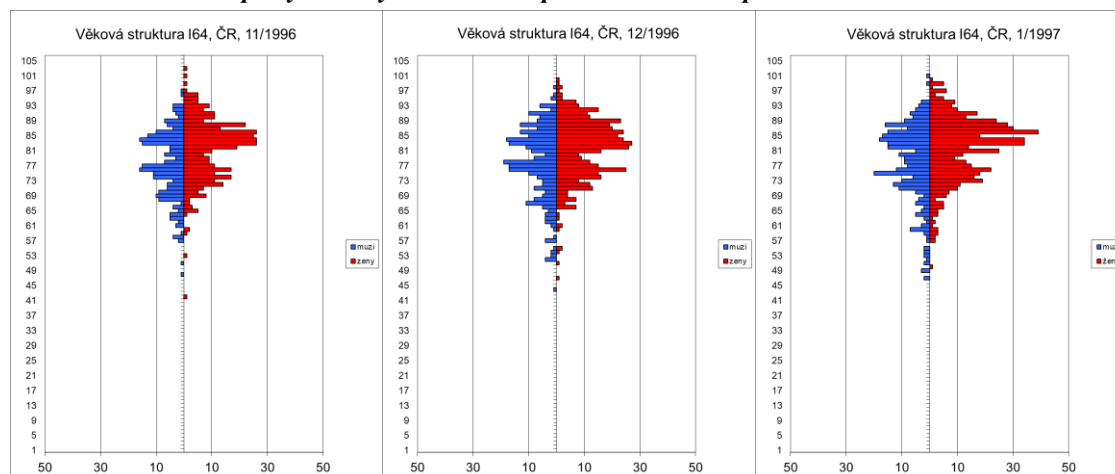
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Epidemiologické časové řady cévní mozkové příhody podléhají i jistým zkreslením. Zpřesnění diagnostiky zvyšuje výskyt cévní mozkové příhody. Naopak nižší počet pitev zemřelých snižuje počet odhalených cévních mozkových příhod, které byly dříve vykazovány na základě pitevního nálezu při absenci klinického nálezu (Bruthans, 2009). Celkové počty

zemřelých na cévní příhodu mozkovou podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 19.

Podobně jako u počtu zemřelých na akutní infarkt myokardu docházelo v druhé polovině 90. let u cévní mozkové příhody k výkyvům v měsíčních počtech zemřelých, například na přelomu let 1997/1996, obrázek 3. Věková struktura počtu zemřelých podle pohlaví v listopadu 1996, prosinci 1996 a lednu 1997 se výrazně neměnila, obrázek 5. V denní časové řadě tyto výkyvy nejsou identifikovatelné.

Obrázek 5 – Měsíční počty zemřelých dle věku a pohlaví na I64 na přelomu let 1996/1997



Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

2.2.13 Jiná cévní onemocnění mozku (I67)

Základní příčinou cévních onemocnění mozku je ukládání cholesterolu do stěny tepny. Postupné zvětšování tukových plátů snižuje průtok krve cévy. To nastává nejčastěji v klidu, často ve spánku. Nejčastější denní dobou výskytu jsou časné ranní hodiny.

Rizikové faktory jsou, stejně jako u většiny nemocí oběhového systému, vystavení stresu, chladu, fyzická zátěž a změna počasí (Kalita, 2006). Celkové počty zemřelých na jiná cévní onemocnění mozku podle pohlaví ve sledovaných věkových skupinách ve sledovaném období jsou uvedeny v tabulce 20.

Tabulka 20 – Jiná cévní onemocnění mozku (I67), celkový počet zemřelých podle věkových skupin a pohlaví v letech 1994–2015

Muži 0-39	Muži 40+	Ženy 0-39	Ženy 40+
69	29 609	53	51 106

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Kapitola 3

Interakce geosféry se Sluncem

Na geosféru a pozemský život mají ze všech projevů sluneční aktivity největší dopad sluneční erupce (flares). Vznikají obvykle v aktivních oblastech v blízkosti skupin slunečních skvrn po roztržení jejich magnetických siločar a jsou tedy s výskytem slunečních skvrn výrazně korelovány. Jsou pozorovatelné jako náhlé záblesky jasů na slunečním disku. Tyto exploze vyvrhují ze Slunce nabitě částice a záření o velmi vysoké energii. Výrazná je zde právě náhodná aperiodická složka této sluneční aktivity. Při typické sluneční erupci je uvolněna energie až 6×10^{25} joulů (což je asi šestina z celkového energetického výkonu vyzářeného Sluncem za sekundu a ekvivalent 160 miliard megatun TNT). Jsou provázeny silnými emisemi rentgenového a ultrafialového záření (Jursa et al., 1985). Při slunečních erupcích dochází k asociovanému výronu koronální hmoty do okolního prostoru (tzv. Coronal Mass Ejections - CME).

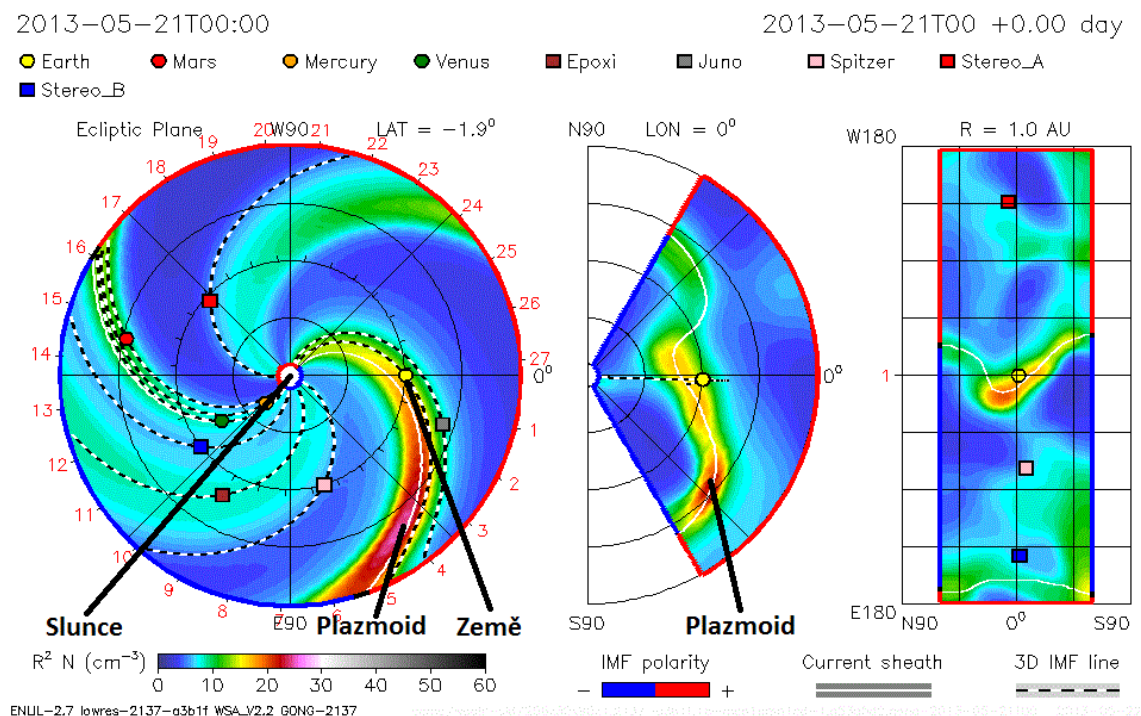
Po sluneční erupci se od Slunce do meziplanetárního prostoru začne šířit *plazmoid*, který s sebou unáší zamrzlé magnetické pole, viz obrázek 6. Snímek z výstupu magnetohydrodynamického predikčního modelu heliosféry WSA-ENLIL zobrazuje šíření plazmoidu od Slunce meziplanetárním prostorem z pohledu kolmého na rovinu ekliptiky, v ekliptikálním řezu a jeho příčném průmětu. Účinek sluneční erupce na Zemi, jak je viditelné z modelu ENLIL, je závislý nejen na síle erupce, ale i na trajektorii, po které se plazmoid pohybuje. Skládá se z 99 % z protonů, těžší nabitě částice (například jádra hélia) tvoří méně než 0,1 % celkového toku (Kleczek, 2002).

Pokud se oblak těchto vysokoenergetických částic střetne se Zemí, vzrostou fyzikální parametry magnetosféry na mnohonásobky klidových hodnot a následně dojde k výrazné geomagnetické bouři. Nabitě částice při ní pronikají do magnetosféry Země, spirálovitě rotují podél jejích siločar a v polárních a subpolárních oblastech (až po 70. rovnoběžku) pak dochází k elektrickým výbojům. Zvýšený tok krátkovlnného slunečního záření zvyšuje ionizaci v ionosféře a tím její vodivost (Jursa et al., 1985). Silné proměnlivé elektrické proudy v ionosféře se projevují také změnou velikosti magnetického pole Země na povrchu a tedy i v biosféře.

Spolu s elektromagnetickým zářením uniká ze Slunce také velké množství částic, které nazýváme sluneční vítr. Jsou to zejména elektrony, protony, ionty a jádra těžších prvků. Počet částic a energie slunečního větru těsně souvisí s aktuální úrovní sluneční aktivity. V době zvýšené sluneční aktivity dochází při rekonekci (propojení) magnetických siločar Slunce k výronu oblaku vysokoenergetických částic. Částice plazmatu jsou vázány ke svým siločarám a sdílejí

s nimi směr jejich pohybu. Sluneční radiace zasáhne Zemi už za 8 minut po události, vysokoenergetické částice za 6–8 hodin a částice slunečního větru za 2–3 dny podle síly a razance erupce (Kleczek, 2002).

Obrázek 6 – Predikční model heliosféry po sluneční erupci



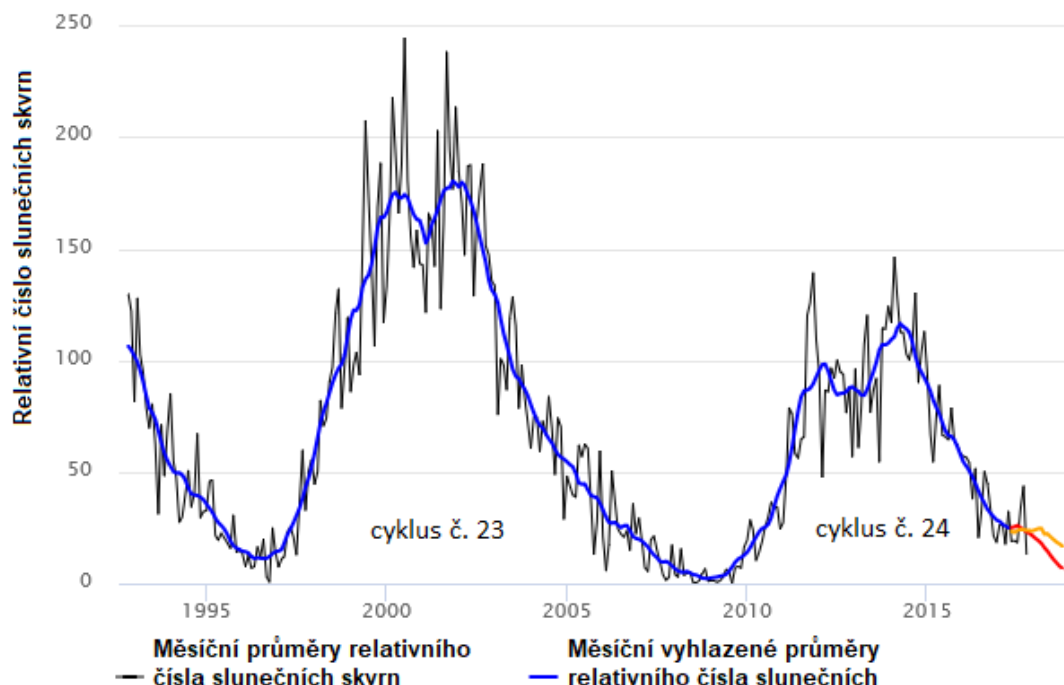
Zdroj: NASA, WSA-Enlil model output. [online]. [cit. 2016]. Dostupný také z WWW: <http://www.swpc.noaa.gov/products/rsa-enlil-solar-wind-prediction>

Sluneční vítr byl objeven anglickým astronomem Richardem Ch. Carringtonem v roce 1859, kdy po slunečním vzplanutí bylo v odstupu několika hodin narušeno magnetické pole Země. Sluneční erupce jsou klasifikovány do tříd A, B, C, M, X a Z podle intenzity toku rentgenového záření z erupce v okolí Země. Třída slunečních erupcí je definována maximálním tokem rentgenového záření o řád vyšším než předchozí třída erupce. Například intenzita rentgenového záření 0,1–0,8 nm u sluneční erupce třídy B je nižší než 10^{-6} W/m², třídy C 10^{-6} – 10^{-5} W/m², třídy M 10^{-5} – 10^{-4} W/m² a třídy X více než 10^{-4} W/m². V rámci tříd je zavedena lineární stupnice od 1,0 do 9,99. (Kleczek, 2002). Například erupce pozorovaná R. Carringtonem 1. září 1859 byla třídy vyšší než X40, tedy třídy Z. Tato erupce byla zatím nejsilnější exaktně pozorovaná sluneční erupce v dějinách (Schove, 1983). První statistickou analýzu souvislostí mezi slunečními erupcemi a geomagnetickými bouřemi provedl v roce 1904 Edward Maunder. Dokázal tak, že elektrony ze slunečního vzplanutí ovlivňují magnetické pole Země (Eddy, 1976).

Úroveň sluneční aktivity kolísá v přibližně 11-letém (resp. 22-letém) cyklu. Průběh slunečního cyklu v období, kterým se zabývá tato práce, je vykreslen na obrázku 7. Jsou na něm zobrazeny průběhy měsíčních průměrů a měsíčních vyhlazených průměrů relativního čísla slunečních skvrn a horní a dolní varianta predikce vývoje sluneční aktivity v nejbližším období (žlutě a červeně). Tato periodicitu vzniká kombinací změn magnetického pole Slunce pod

fotosférou, konvekce a diferenciální rotace Slunce (Kleczek, 2002). Sluneční aktivita je tak projevem přeměny kinetické energie plazmatu Slunce na energii magnetického pole.

Obrázek 7 – Průběh slunečních cyklů během sledovaného období let 1994 – 2015



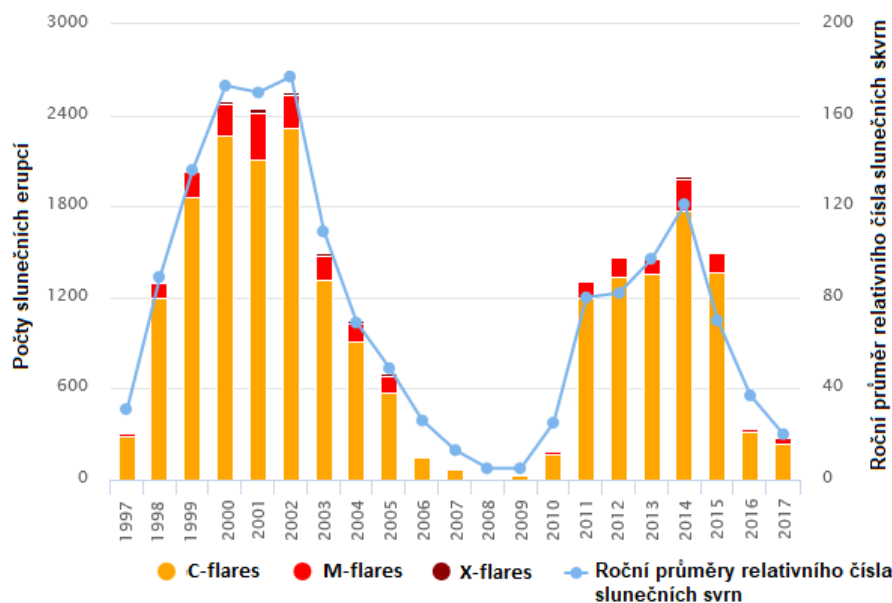
Poznámka: Relativní číslo slunečních skvrn se určuje jako desetinásobek počtu skupin skvrn na slunečním disku, ke kterému je přičten počet jednotlivých skvrn. Červenou a žlutou čarou je vyznačena horní a dolní varianta predikce vývoje sluneční aktivity v letech 2018–2020.

Zdroj: Upraveno podle SpaceWeatherLive.com, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>.

V rámci jednoho slunečního cyklu se mění četnost slunečních erupcí i geomagnetických bouří. Četnosti slunečních erupcí rozdělených podle jejich klasifikace v období let 1997–2017 jsou na obrázku 8. Viditelná je zde vyšší četnost během maxim sluneční aktivity. Počty geomagnetických bouří podle jejich klasifikace v období analyzovaném v této práci jsou na obrázku 9. Četnosti geomagnetických bouří mají maxima opožděná za maximy slunečních erupcí. Magnetické bouře jsou klasifikovány stupnicí G1–G5, podle intenzity stupně narušení geomagnetického pole. G1 malá, G2 mírná, G3 silná, G4 těžká a G5 extrémní geomagnetická bouře.

Sluneční vítr deformuje tvar magnetosféry Země i ostatních planet z původně dipólového pole do rázové vlny na denní straně a charakteristického ohonu na noční straně, obrázek 10. To na denní straně způsobuje skokové změny koncentrace a rychlosti částic i hodnoty indukce magnetického pole Země. Vzniklé proudy pak tečou podél siločar magnetického pole Země směrem dovnitř i ven z ionosféry. Buď obtékají magnetosféru, nebo vstupují v oblasti magnetosférického rohu (*cusp*) do atmosféry Země. Energetické elektrony se pohybují po spirále podél magnetických siločar směrem k polární oblasti, kde způsobují polární záře (Jursa et al., 1985).

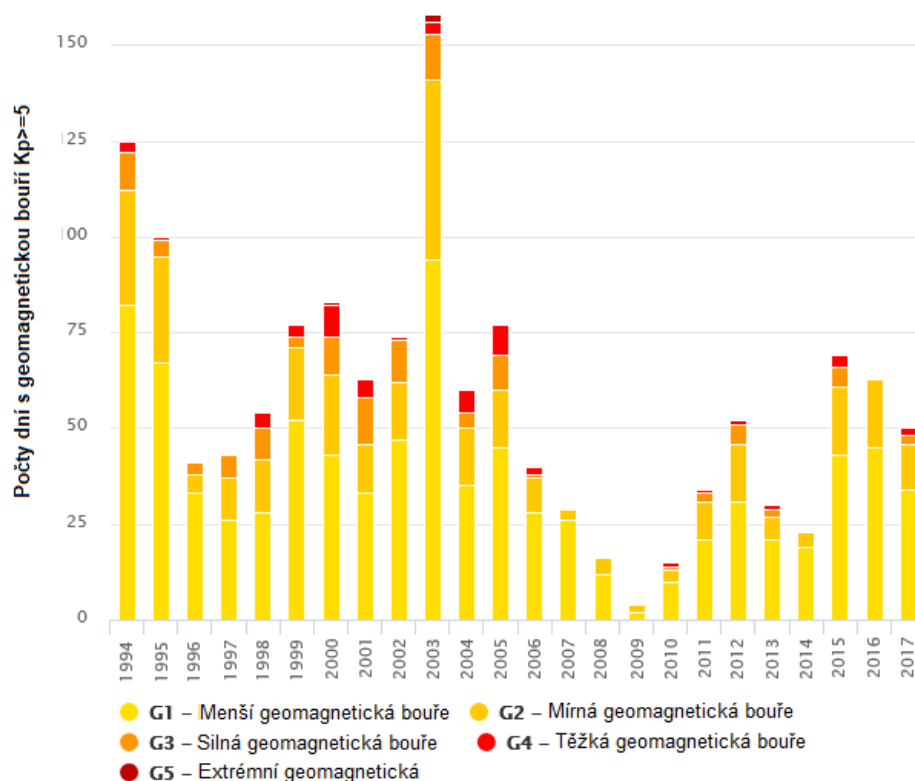
Obrázek 8 – Četnosti slunečních erupcí (flares) v období let 1997 – 2017



Poznámka: intenzita rentgenového záření C-flares 10^{-6} – 10^{-5} W/m², M-flares 10^{-5} – 10^{-4} W/m², X-flares více než 10^{-4} W/m².

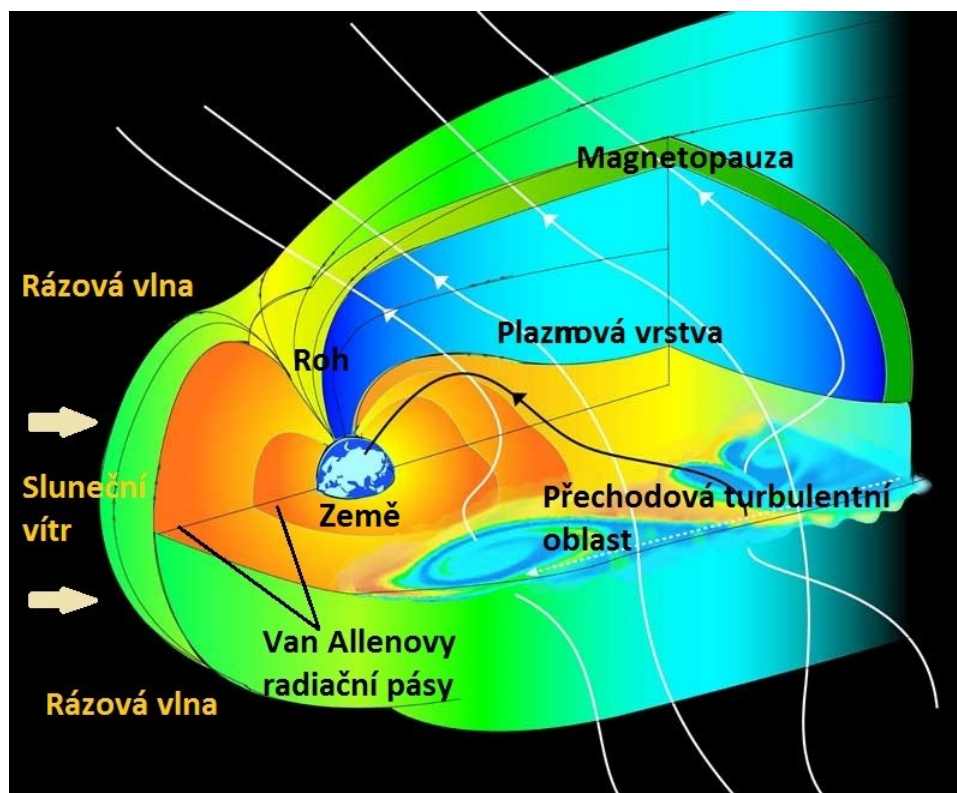
Zdroj: Upraveno podle SpaceWeatherLive.com, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>.

Obrázek 9 – Počty geomagnetických bouří v období let 1994 – 2017



Poznámka: K_p index měří stupeň narušení magnetického pole Země vlivem sluneční aktivity. Hodnota 0 značí klidné geomagnetické pole, hodnota 9 velmi narušené geomagnetické pole (podrobněji viz 3).

Zdroj: Upraveno podle SpaceWeatherLive.com, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>

Obrázek 10 – Sluneční vítr deformuje tvar magnetosféry Země

Zdroj: Upraveno podle NOAA, Space Weather Prediction Center. 2014, SE-14, Boulder, [online]. [cit. 2014]. Dostupný také z WWW: <<http://sec.noaa.gov>>.

Zemi obepínají dva Van Allenovy radiační pásy. Jsou to oblasti maxima hustoty nabitých částic ze Slunce, které zachytilo magnetické pole Země vytvářející oblasti silné radiace. Vnitřní pás je ve vzdálenosti 1 600 až 12 900 km nad zemským povrchem a je velmi stabilní. Vnější radiační pás je ve vzdálenosti 19 000 až 40 000 km a je velmi proměnlivý. Pojmenovány jsou po Jamesi Van Allenovi, který v rámci 1. Mezinárodního geofyzikálního roku 1957 prosadil umístění Geigerových-Müllerových počítačů na paluby prvních amerických sond řady Explorer, které tyto oblasti zvýšené radiace kolem Země objevily (Kleczek, 2002). V roce 2012 byl dvojicí vědeckých družic NASA pojmenovaných Van Allen objeven sporadický třetí Van Allenův pás v oblasti mezi dvěma dříve známými pásy (Phillips, 2013).

V prstencových oválných oblastech kolem magnetických pólů Země, tzv. aurorálních oblastech tvořících přechodovou oblast mezi otevřenými a uzavřenými silokřivkami zemského magnetického pole, se může proud částic dostávat do vyšších vrstev atmosféry, kterou ionizuje. Tento jev způsobuje excitace atomů v atmosféře a je ze Země pozorovatelný jako polární záře. Je dalším projevem sluneční aktivity, o kterém jsou pozorovací záznamy z minulosti. Jsou tak další nepřímou informací o sluneční aktivitě v minulosti.

Podobně jako sluneční skvrny byly polární záře pozorovány už ve starověké Číně, Řecku i Římě. V 16. století pozoroval polární záře na své observatoři Uraniborg na poloostrově Hven Tycho Brahe. Tato pozorování byla naopak vzácná na přelomu 17. a 18. století v době

Maunderova minima⁵ (Horský, 1979). Magnetickou povahu polárních září odhalil v roce 1741 Olof Petrus Hiorter, asistent švédského astronoma a fyzika Anderse Celsia, když spolu zaznamenali výchylky střelky kompasu při pozorování polární záře. Spolu pak poprvé popsali průběh magnetické bouře. Ve druhé polovině 18. století pozorovali mořeplavci výskyt polárních září i ve vysokých jižních šířkách. Později bylo zjištěno, že se polární záře vyskytují v severních i jižních polárních oblastech současně. První podrobný model polárních září a magnetických bouří rozpracoval kolem roku 1939 Hannes Alfvén. Podle tohoto stále přijímaného modelu proudy tečou v polární oblasti v proudových stěnách podél magnetického pole Země a excitací atomů atmosféry způsobují záření (Eddy, 1976).

Katalog polárních září pozorovaných do 55° severní zeměpisné šířky sestavili v roce 1988 Ladislav Krivský a Karel Pejml (Krivský, Pejml, 1988). Polární záře jsou katalogizovány až k roku 1000 n. l. Počet katalogizovaných polárních září je závislý na možnosti šíření a uchovávání informace o nich v době vzniku pramene. Je zde viditelný vzrůst počtu záznamů po vynálezu knihtisku kolem roku 1500 a pak zejména v 19. století v době průmyslové revoluce. V ranějším období nevidíme žádnou obdobnou výraznou změnu. To je velmi zajímavé vzhledem k tomu, že je dochováno více zápisů z 12. století než ze století následujících (Krivský, Pejml, 1988). Z toho lze usuzovat na vyšší úroveň sluneční aktivity ve 12. století oproti zbytku sledovaného období.

3.1 Indexy sluneční a geomagnetické aktivity

Vliv sluneční aktivity na magnetické pole Země popisují a kvantifikují tzv. geomagnetické indexy. Zmíníme zde alespoň ty nejdůležitější.

K_p index je stupeň narušení magnetického pole Země vlivem sluneční aktivity. Je také globální mírou disipace energie slunečního větru. Měří se na třinácti geomagnetických observatořích rozmístěných zejména na severní polokouli. Z K_p indexu lze určit i spodní hranici geomagnetické šířky, na které lze pozorovat polární záři (Piggott, Rawer, 1972). Aby bylo možné pozorovat polární záři na geomagnetické šířce Prahy (45,5°N), musí K_p index dosáhnout hodnoty 9, tedy měřitelného maxima.

R je relativní číslo slunečních skvrn, někdy také nazývané Wolfovo číslo. Relativní číslo slunečních skvrn se určuje jako desetinásobek počtu skupin skvrn na slunečním disku G , ke kterému je přičten počet jednotlivých skvrn F , včetně skvrn v jednotlivých skupinách skvrn na slunečním disku, $R = 10G + F$. Pokud není na slunečním disku viditelná žádná skvrna, je relativní číslo R rovno nule. Při extrémně vysoké sluneční aktivitě může přesáhnout i hodnotu 300, jeho hodnota je bezrozměrná. (Jursa et al., 1985: s. 4-29).

Dst (z Disturbance Storm Time) je index popisující stupeň narušení magnetického pole Země a je indikátorem magnetických bouří. Měří velikost odchylky zemského magnetického pole od

⁵ Maunderovo minimum je označení pro období velmi nízké úrovně sluneční aktivity v letech 1638–1715. Je nazváno podle slunečního fyzika E. W. Maundera, který poprvé vysvětlil nízký počet slunečních skvrn v tomto období útlumem sluneční aktivity. Tento útlum se projevil na klimatu Země výrazným ochlazením.

klidového stavu v rovníkové oblasti jako hodinový průměr odchylky vodorovné složky pole v blízkosti rovníku (Jursa et al., 1985: s. 10-28).

Další veličinou explicitně popisující sluneční aktivitu v okolí Země je *sluneční radiový tok F10,7*. Tato dlouhodobá složka slunečního záření, tzv. radiové záření a je rovněž proměnlivá v rámci slunečního cyklu a udává vliv slunečního EUV a X záření na Zemi. Jeho jednotkou je $\text{J.s}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{Hz}^{-1}$. Hodnota *F10,7* koreluje se sluneční aktivitou a počtem slunečních skvrn. Sluneční radiový tok je všesměrový a má tedy stejnou hodnotu pro celou planetu Zemi (Tapping, 2013).

Sluneční protonový tok PF30 udává množství protonů dopadajících na jednotku plochy v okolí Země (Jursa et al., 1985: s. 6-19). Sluneční protonový tok s energiemi nad 10, 30 a 60 MeV je měřen pomocí geosynchronní kosmické sondy GOES v pětiminutových intervalech. Jeho jednotkou je počet protonů. $\text{cm}^{-2}.\text{sec}^{-1}.\text{ster}^{-1}$. Pro jednotlivé roky v časové řadě byla použita data z družic: GOES 7, 1995; GOES 8, 1996–2002; GOES 10, 2003; GOES 11, 2004–2010; GOES 13, od roku 2011 dále.

FoF2 je kritická frekvence ionosférické vrstvy F2. K maximální ionizaci dochází ve výšce cca 250 km ve vrstvě F2, kde je koncentrace 10^{11} – 10^{13} iontů/ m^3 . Je to maximální frekvence, která se při vertikálním kolmém dopadu radiových vln odrazí od vrstvy F2 a odpovídá maximální plazmové frekvenci a tím i maximální koncentraci elektronů ve vrstvě F2. Jednotkou je MHz (Jursa et al., 1985: s. 12-1). Typické hodnoty kritických frekvencí jsou v zeměpisných šířkách České republiky kolem 4–12 MHz pro vrstvu F2. Tyto hodnoty jsou závislé zejména na úrovni sluneční aktivity. Kritická frekvence je přímo úměrná koncentraci iontů. Čím více je atmosféra ionizována, tím vyšší je kritická frekvence a tím více radiových vln se od ionosféry odráží. Vzduch je ve dne ionizován slunečním zářením, a proto se mění kritická frekvence podle denní i roční doby (Kleczek, 2002).

Z tohoto důvodu byly hodnoty foF2 uvažovány jako tříhodinový polední průměr podle poledne místního času. Měsíční mediány a dlouhodobé průměry kritická frekvence foF2 koreluji s úrovní sluneční aktivity. V kratších časových intervalech jsou pozorována časová zpoždění různých délek (podle úrovně sluneční aktivity a geografické délky) oproti hodnotám slunečního radiového toku F10,7 (Třísková, Truhlík, Podolská, 2011). Pro analýzu v této práci byla použita měření z ionosondy JR055 Juliusruh/Rugen (54,6°N, 13,4°E), která dostatečně pokrýváji sledované časové období a odpovídají hodnotám pro území České republiky.

TEC (z Total Electron Content) je celkový obsah volných elektronů ve sloupci jednotkového průměru v ionosféře, udávaný v jednotkách TECU 10^{16} elektronů/ m^3 (Jursa et al., 1985: s. 10-40, Tapping, 2013). Měření jsou získávána ze zpoždění signálů družic GPS. Data poskytuje NASA International Laser Ranging Service. Globální mapy *TEC* včetně jejich časových řad od roku 1998 v 15-minutovém časovém rozlišení jsou k dispozici na stránkách Institut Géographique National (IGN), Francie. Přibližně 99% celkové odchylky ročních průměrných globálních hodnot *TEC* je vysvětleno variabilitou sluneční aktivity (Laštovička, Urbář, Kozubek, 2017). Hodnoty *TEC* jsou důležité i pro globální navigační družicové systémy a navigaci pomocí signálu GPS.

Kapitola 4

Klimatické důsledky změn sluneční aktivity

Systém heliosféra-geosféra tvoří Slunce jako zdroj energie, kosmické prostředí v blízkosti Země, zemská atmosféra a její povrch. Energetický příkon slunečního záření dopadajícího na povrch atmosféry Země je 1373 W/m^2 (Kleczek, 2002). Většina této energie pochází ze sluneční fotosféry. V období slunečních maxim je tedy intenzita dopadajícího záření vyšší než ve slunečních minimech. První práce o vlivu úrovně sluneční aktivity na variabilitu klimatu se objevují na počátku 19. století. Podrobně se tématu věnoval William Herschel v díle *The Nature of the Sun* (Herschel, 1801).

V mezoféře teplota s výškou klesá díky infračervenému vyzařování oxidu uhličitého. Vrchní oblast mezoféry je vůbec nejchladnější částí zemské atmosféry. Na vlastnosti termosféry má rozhodující podíl absorpce tvrdého ultrafialového záření a rentgenového záření ze Slunce a následná silná ionizace, její ionizovaná část se nazývá ionosféra⁶. Nachází se v oblasti mezoféry a termosféry. Ve své horní části ionosféra přechází v plazmasféru. V nejnižší části ionosféry (vrstva D) se vyskytují zejména hydratované ionty vodíku $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, ve vyšší vrstvě (vrstva E) jsou zejména ionty O_2^+ a NO^+ a nad ní ve vrstvě F je dominantním iontem atomární kyslík O^+ . V plazmasféře jsou dominantní ionty vodíku H^+ a hélia He^+ (Jursa et al., 1985: s. 10-39).

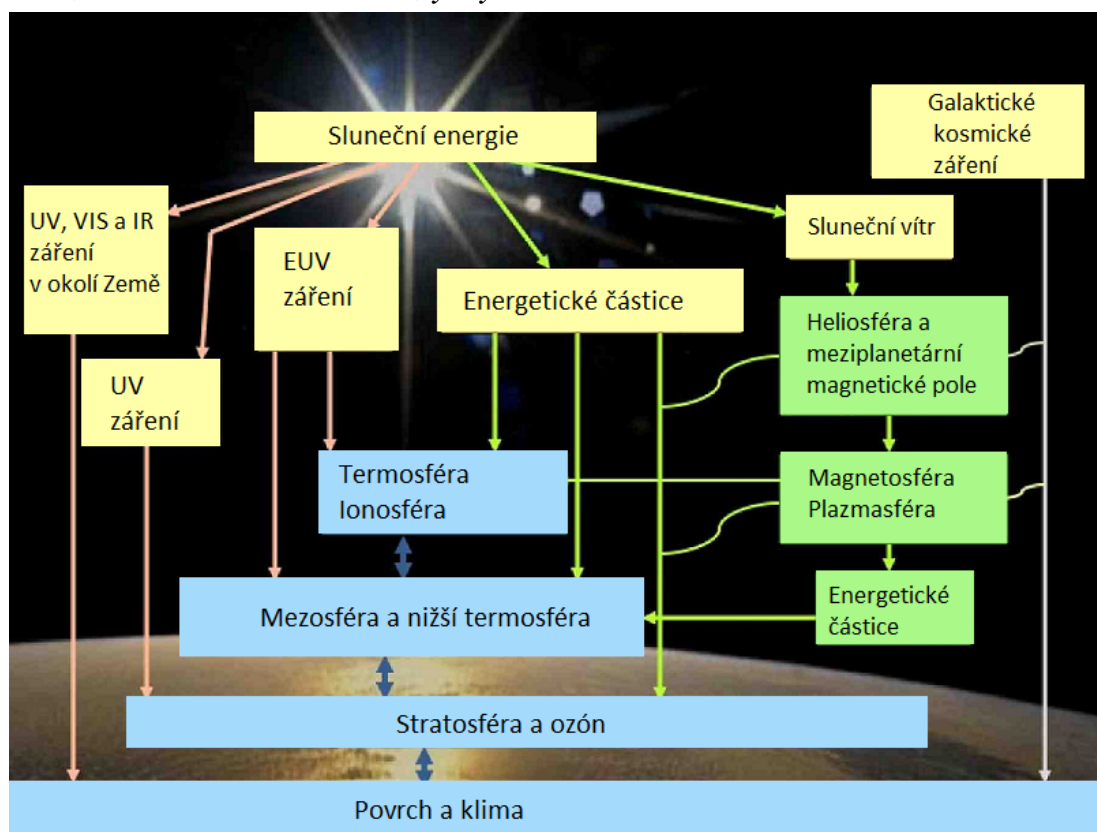
Stupeň ionizace závisí na denní době, ročním období, sluneční a geomagnetické aktivitě. *Galaktické kosmické záření* pocházející z vně systému Slunce-Země z hlubokých oblastí vesmíru, je izotropní (všesměrové), a přispívá k množství vysokoenergetických částic vstupujících do atmosféry Země. Tok galaktického kosmického záření je modulován magnetickým polem Slunce a Země a je tedy také závislý na úrovni sluneční aktivity. Skládá se z 85 % protonů, 11 % jader helia, 1 % těžších jader téměř všech prvků periodické soustavy a 3 % elektronů. V blízkosti Země se však mění jeho složení a intenzita v důsledku interakcí se slunečním větrem, magnetickým polem Země a jeho atmosférou. *Sluneční kosmické záření* pochází především ze slunečních erupcí. Je složeno z 99 % protonů a těžších nabitých částic, kterých je méně než 0,1 % celkového

⁶ Troposféra je vrstva atmosféry od povrchu Země do 7 km u pólů, a do 17 km na rovníku. Stratosféra se nalézá nad troposférou do 50 km a její teplota roste s výškou nad povrchem. Mezoféra sahá od stratosféry do 80 - 85 km, teplota v ní s výškou od povrchu klesá. Termosféra je nad mezoférou do vzdálenosti 640 km od povrchu, teplota v ní stoupá s nadmořskou výškou. Ionosféra leží od výšky 60 km a obsahuje elektricky nabitě částice a tím umožňuje odraz radiových vln. Skládá se z vrstvy F2 (350 km), F1 (180 km), E (120 km) a D (90 km).

toku (Kleczek, 2002). Ve stratosféře dochází k pohlcování ultrafialového záření ze Slunce, které nebylo pohlceno v ionosféře. Teplota v důsledku tohoto pohlcování stoupá až ke stratopauze. Vzájemné vazby a složky, kterými Slunce působí na geosféru, jsou schematicky znázorněny na obrázku 11. Tento dynamický systém se vyznačuje vysokou komplexitou a provázaností svých složek.

Obrázek 12 ilustruje základní propojení a vazby mezi ionosférou a termosférou. Tyto vazby jsou ovlivňovány slunečním ohřevem a slapovými silami Měsíce, rotací Země, konvekcí a tvarem zemského povrchu. Proti sobě působí ohřev slunečním zářením a ochlazování atmosféry IR vyzařováním. Do systému vstupují i energetické částice kosmického původu a síly magnetického pole Země. Je zřejmé, že v tomto systému existuje velké množství sekundárních vazeb a činitelů, které ho zásadním způsobem ovlivňují.

Obrázek 11 – Základní součásti a vazby v systému Slunce-Země



Poznámka: Systém tvoří Slunce jako zdroj energie (označeno žlutě, složky jsou ultrafialové záření – UV, vysokoenergetické ultrafialové záření – EUV, infračervené záření – IR a viditelné světlo – VIS), heliosféra a kosmické prostředí v blízkosti Země (označeno zeleně) a zemská atmosféra a povrch (označeno modře). Šipky ukazují toky energie v systému.

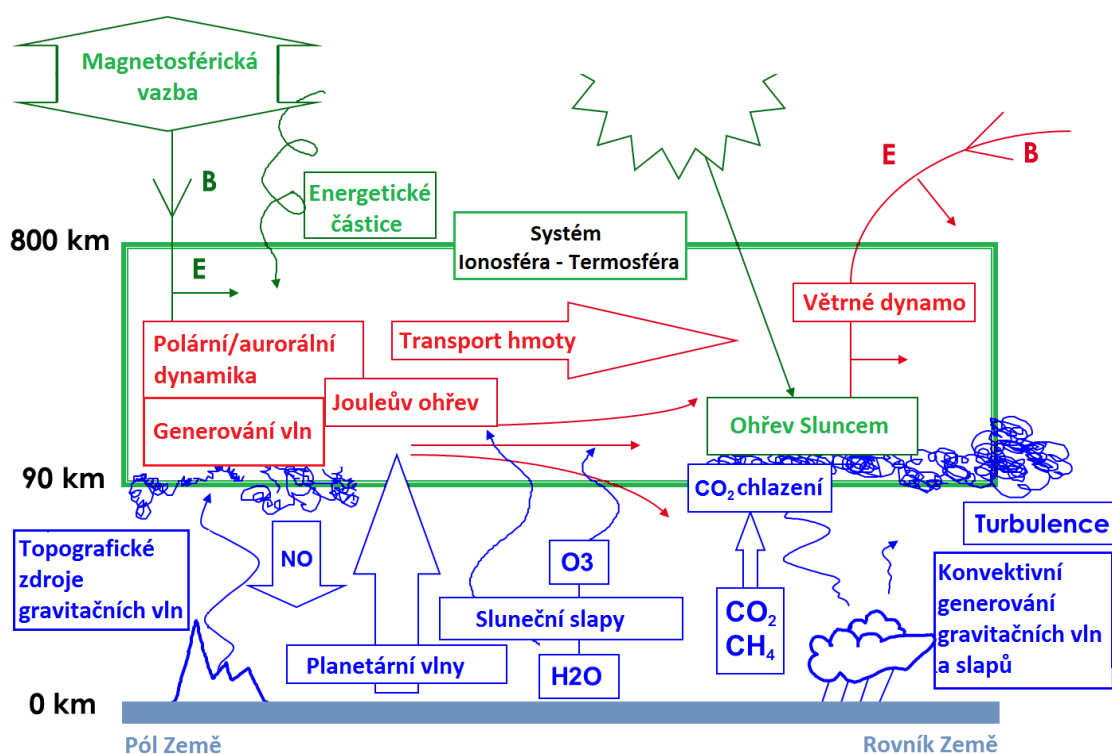
Zdroj: Upraveno podle <http://www.earthzine.org/2008/08/28/changing-sun-changing-earth/>.

To, nakolik jsou klimatické změny důsledkem změn úrovně sluneční aktivity, je dlouhodobým předmětem zájmu mnoha studií z různých oborů. V období přelomu 1. a 2. tisíciletí n. l. se vyskytlo nejvýraznější takzvané středověké klimatické optimum. Je to právě doba, kdy vikinské populace osidlují Grónsko a plují až k východnímu pobřeží Kanady. Ve 14. století pak došlo k ochlazení a zejména zimní teplotní průměry v Evropě klesly. Toto období označované jako malá doba ledová trvalo téměř do poloviny 19. století. Dnes je termín malá doba ledová

užíván právě pro chladné období od poloviny 16. století do poloviny 19. století mezi roky 1550–1850 s nejvýraznějšími projevy v letech 1550–1700 (Lamb, 1965). V tomto období kolísal teplotní průměr asi 1°C pod teplotním průměrem předchozího⁷.

Z této doby jsou záznamy o zvětšování alpských ledovců a zamrznání kanálů v Nizozemsku (Acot, 2005: s. 116–118). Zimy v tomto období byly tvrdé a dlouhé a léta poměrně chladná a vlhká. Průměrná teplota v Evropě byla o jeden až dva stupně nižší než v současnosti. Z výzkumů obsahu radionuklidu uhlíku ^{14}C v usazeninách Sargasového moře je doloženo, že v průběhu malé doby ledové byla teplota mořského povrchu o cca 1°C nižší, a v průběhu středověkého klimatického optima asi o cca 1°C vyšší než ve 2. polovině 20. století (Acot, 2005). Tato klimatická období lze identifikovat i na letokruzích stromů rostoucích v té době a dalších biologických materiálech.

Obrázek 12 – Propojení systému Ionosféra–termosféra



Zdroj: Schéma upraveno podle (Jones, 2014).

Pozornost byla věnována také souvislosti chladnějšího klimatického období od poloviny 14. století do poloviny 19. století, klimatickým optimům a delších útlumů sluneční činnosti. Období s dlouhodobě nižší úrovní sluneční aktivity (obrázek 13) jsou podle svých objevitelů nazývána Oortovo (v letech 1010–1050), Wolfovo (v letech 1280–1340), Spörerovo (v letech 1420–1530), Maunderovo (v letech 1645–1715) a Daltonovo dlouhodobé sluneční minimum (v letech 1800–1825). V době Maunderova minima již probíhala astronomická pozorování

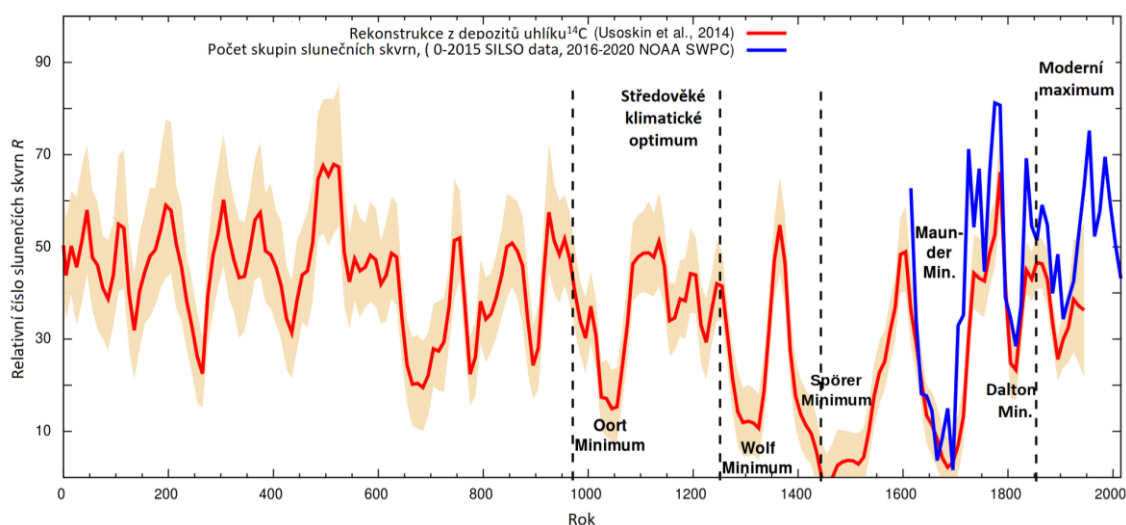
⁷ Výraz *malá doba ledová* bývá někdy používán i pro širší období let 1300–1850, tedy dobu od skončení *středověkého klimatického optima* (950–1300) do začátku *novodobé teplé periody* (od 2. poloviny 19. století).

slunečních skvrn. Podle nich došlo k takovému utlumení sluneční aktivity, že se na slunečním disku nevyskytovaly prakticky vůbec žádné skvrny (Kleczek, 2002: s. 266).

Nízká úroveň sluneční činnosti v těchto obdobích byla potvrzena i nízkým obsahem radioaktivního uhlíku ^{14}C v datovaných biologických vzorcích. Důležitým faktorem zvýšení koncentrace radioaktivních částic je zesílení ultrafialového a rentgenového záření při slunečních erupcích.

V dobách nízkého počtu slunečních erupcí a tedy i nízké sluneční aktivity depozity radioaktivního uhlíku poklesnou. Časový průběh obsahu radioaktivního uhlíku ^{14}C s vyznačením významných útlumů sluneční činnosti je na obrázku 13. Průběh relativního čísla slunečních skvrn rekonstruovaného z koncentrací hodnot depozitů radionuklidu uhlíku ^{14}C je vyneseno červeně. Popisky v grafu vyznačují polohy dlouhodobých minim a maxim sluneční aktivity na časové ose: Daltonova, Maunderova, Spörerova, Wolfova a Oortova minima a tzv. moderního maxima. Text v horní části obrázku orientačně vyznačuje období středověkého klimatického optima a moderního maxima. K rekonstrukci počtu slunečních skvrn za poslední tisíciletí zde byla nově použita metoda měření koncentrací radionuklidu uhlíku ^{14}C ze vzorků vrtů v polárních ledovcích v Grónsku a Antarktidě (Usoskin aj., 2014).

Obrázek 13 – Srovnání rekonstrukce průměrných měsíčních počtů slunečních skvrn



Zdroj: Graf upraven podle (Usoskin et al., 2014).

Odpovídající profily jsou omezeny přesností výsledků rekonstrukce a upravenými rekonstruovanými hodnotami. Tok kosmického záření do horních vrstev zemské atmosféry byl určen z koncentrací radionuklidu beryllia ^{10}Be ⁸. Touto metodou byla získána data pro období od roku 1700 do roku 1940, která byla porovnána se skutečnými počty slunečních skvrn. Tím byla metoda kalibrována (Hofman, 2004) a byly odhadnuty počty slunečních skvrn až k roku 850 n. l. Kvůli chybě měření dat nelze tímto postupem rekonstruovat počty slunečních skvrn pro každý

⁸ Pomocí modelu průchodu kosmického záření heliosférou bylo určeno, jak bylo kosmické záření ovlivněno tímto průchodem, tzv. modulační intenzita. Modulační intenzita závisí na toku magnetického pole Slunce. Z toku magnetického pole Slunce je možné určit intenzitu zdroje tohoto magnetického pole a z intenzity magnetického pole pak odhadnout sluneční aktivitu a tím také počet slunečních skvrn.

rok, ale pouze průměr pro jedenáctiletý cyklus. Data byla porovnána i se staršími výsledky získanými pomocí měření koncentrací radionuklidu uhlíku ^{14}C v letokruzích stromů.

Podobnou rekonstrukci provedli Bard a kolektiv v (Bard et al., 2007: s. 2301–2308) na základě měření obsahu ^{14}C a ^{10}Be rovněž v ledovcích v Antarktidě. Z těchto měření byla odhadnuta intenzita slunečního záření za posledních 1200 let. Údaje ze všech uvedených zdrojů se lišily jen minimálně.

Vztah dlouhodobého poklesu sluneční aktivity v období Maunderova minima a klimatu v euroatlantické oblasti studoval kolektiv autorů ve studii *Wintertime European circulation patterns during the Late Maunder Minimum cooling period (1675–1704)* (Wanner et al., 1995: s. 167–175). Severní Atlantik a Západní Evropa představují klíčovou oblast pro studium studených relapsů, které mohou být možná projevem sníženého oceánské proudění. Zejména období konce Maunderova minima bylo poměrně chladné a suché, s nízkými teplotami oceánu a výskytem mořského ledu. Porovnáním typologie zimního počasí v třicetiletém období let 1675–1704 a 1961–1990, které spadá do moderního maxima sluneční aktivity, ukazuje, že pozdní Maunderovo minimum se oproti referenčnímu období novodobého maxima sluneční aktivity vyznačovalo masivními tlakovými výměnami mezi oblastmi vysokého a nízkého tlaku nad mořem přes severní nebo severozápadní Evropu a vpády studeného severovýchodního kontinentálního vzduchu. Tedy přesně typem klimatu, které bychom charakterizovali jako tvrdé a dlouhé zimy a poměrně chladná a vlhká léta.

Již 150 let je pozorováno postupné oteplování klimatu, které je připisováno lidské industriální činnosti. Za hlavní příčinu tzv. skleníkového efektu je označován vyšší obsah CO_2 v atmosféře. Jak ukázaly práce citované v předchozím textu (Le Roy Ladurie, 2009) jde o mnohem komplexnější problém. Ve 20. století prudce vzrostla sluneční aktivita na hodnoty nezaznamenané v předchozích 1 100 letech. Dlouhodobá sluneční minima velmi dobře odpovídají malé době ledové a naopak středověké maximum sluneční aktivity odpovídá středověkému klimatickému optimu (obrázek 13). Z toho podle uvedených studií vyplývá, že i ve 20. století se muselo klima oteplit kromě antropogenních faktorů i vlivem zvýšené sluneční aktivity. Sluneční aktivita však v posledních 60 letech neroste, a od slunečního maxima v letech 1958–1959 klesá. V současnosti je na nízké úrovni blížící se Daltonovu minimu, současný ohřev atmosféry je tedy antropogenního původu (CO_2).

4.1 Klimatické změny a lidská populace

Klimatické projevy působení sluneční aktivity se geograficky výrazně liší a jsou kauzálně obtížně vysledovatelné. Vzájemná vazba mezi klimatem, vývojem živých organismů a lidskými populacemi provází dějiny lidstva již od dob lovců sběračů. Klima mělo zásadní význam pro vývoj i přežití lidské populace, zejména v minulosti. Dějiny lidstva jsou tedy s dějinami klimatu ve velmi úzkém sepětí. Široce se diskutuje vliv sluneční aktivity na sekulární změny klimatu, malé doby ledové a malá klimatická optima. Kauzalita vzniku dob ledových není ještě zcela vysvětlena, ale teorie, že jednou z jejich příčin byla právě snížená sluneční aktivita, se dnes

obecně přijímá (National Research Council, 1982). Hlavní příčinou jejich vzniku jsou pravděpodobně orbitální změny a nízká hladina CO₂.

V poslední době je předmětem této polemiky i fenomén globálního oteplování. Společnost se naléhavě snaží kvantifikovat antropogenní a přírodní příčiny klimatických změn. Rekonstrukce klimatu ve starších geologických dobách je s ohledem na omezený rozsah geologických dat relativně obtížná. Pro klimatický vývoj v nedávné minulosti nicméně existuje velké množství stop z různých pramenů, ze kterých lze na dlouhodobé změny klimatu usuzovat. Dlouho se předpokládalo, že vliv lidské populace na růst emisí skleníkových plynů závisí pouze na absolutní velikosti populace. Přestože populační růst je celosvětově jedním z hlavních faktorů emisí skleníkových plynů a tedy i klimatických změn. V článku *Demographic aspects of climate change mitigation and adaptation* (Lutz, Striessnig, 2015) autoři dokazují, že sociodemografické faktory (věk, vzdělání a další diferenční populační charakteristiky) mají zásadní podíl při utváření životního stylu a tím ovlivňují nejen objem emisí, ale i schopnost lidské společnosti přizpůsobit se změně klimatu. Snížení emisí podle autorů zásadně závisí na technologickém pokroku a změně chování. To je ovšem opět důsledkem změn sociodemografického složení populace, zejména s ohledem na věk a úroveň vzdělání.

Některé práce ukazují, že mladší lidé mají větší pravděpodobnost než starší dospělí změnit způsoby mobility ve prospěch ekologičtějších dopravních prostředků (Pronello, Camusso, 2011). Vazby mezi charakteristikami populace a změnou klimatu jsou však velmi komplikované a parciálně provázané. Například vyšší vzdělání je spojeno s vyšším bohatstvím, ale tím i s vyšší spotřebou a emisemi. Výzkum ale ukazuje, že na dané úrovni příjmu jsou lidé s vyšším vzděláním ohleduplnější k životnímu prostředí, zejména ve spotřebě energie a v dopravě.

Studiu odhadu velikosti populace, kterou může Země vzhledem ke klimatickým změnám uživit, se věnuje J. E. Cohen ve své knize *How Many People Can the Earth Support?* (Cohen, 1995). Dochází rovněž k závěru, že vliv nemá jen velikost populace, ale i její schopnosti, vlastnosti a životní styl. Předpokládá, že lidská společnost bude v budoucnosti mnohem starší než současná, bude více žít ve městech a bude vzdělanější. To je třeba vzít v úvahu při posuzování pravděpodobných dopadů klimatických změn na úmrtnost, zdravotní stav populace, obživu nebo migraci. Klimatické modely v minulosti obsahovaly pouze hrubé odhady populačních změn. Nové modely však již zahrnují i projekce počtu obyvatel podle věku, pohlaví a dosaženého vzdělání (Cohen, 1995).

Modelování vztahů mezi populací a klimatem a metodologii výzkumu těchto vazeb rozpracoval ve své studii *The Interaction of Climate and Society* také Robert W. Kates (Kates et al., 1985: s. 273–291). Klasifikuje několik tříd těchto modelů. Primárně rozlišuje impaktní a interakční modely vlivu klimatu na lidské společenství a do modelů začleňuje i antropogenní faktory. Některé modely v sobě zahrnují i zpětnovazebné principy. Jako zásadní pro míru a typ dopadu klimatických změn vidí sociokulturní a sociopřírodní podmínky, ve kterých sledované lidské společenství žije.

4.2 Klimatické změny pohledem environmentální historie

Působení klimatu na různé aspekty lidských dějin se věnuje environmentální historie. Jedním z jejích zakladatelů v moderní podobě je významný francouzský historik Emmanuel Le Roy Ladurie. Se svým týmem se věnuje právě dopadu klimatických změn na lidské dějiny, ale i působení lidského činitele na změny životního prostředí. Le Roy Ladurie je zakladatelem hnutí Nouvelle histoire, antropometrické historie a mikrohistorie, ve které historici používají regionální prameny o událostech, lokalitách, rodinách a každodenním životě k nalezení struktury společnosti v daném období. Podrobně v mnoha studiích rozpracoval historii francouzských regionů v mnoha historických obdobích.

Mezi nejvýznamnější patří *Les Paysans de Languedoc* (Le Roy Ladurie, 1966), *Montaillou, village occitan de 1294 à 1324* (Le Roy Ladurie, 1975) a *Histoire de France des régions* (Le Roy Ladurie, 2001). Tyto práce měly zásadní vliv na přesnost a komplexnost jeho metod výzkumu historie klimatu, které včetně popisu jejich vývoje shrnuje v knize *Naissance de l'histoire du climat* (Le Roy Ladurie, 2013).

První prací, ve které tyto postupy použil, byla kniha *Histoire du climat depuis l'an mil* (Le Roy Ladurie, 1967), kde popisuje nové metody výzkumu i hlavní milníky klimatických změn od roku 1000 n. l. Na změny klimatu usuzuje nejen ze starých fyzikálních měření, ale zejména z písemných pramenů včetně záznamů o zemědělské produkci, městských a církevních záznamů, policejních a soudních spisů ze 17. a 18. století, popisů krajiny a nově také z datovaných vyobrazení krajiny, zejména dobových rytin. Ze záznamů o termínech žní a vinobraní, které dokládají klimatické podmínky, vypracoval kvantitativní historii klimatu. Přináší zde důkazy o staletí trvajícím ochlazení klimatu v Evropě od poloviny 16. století do poloviny 19. století. Nově zde řeší problém popisu malé doby ledové. Tento termín původně označoval chladnější a vlhčí subatlantické klima, které se objevilo kolem roku 500 př. n. l. Někteří klimatologové upřednostňovali termín fernauské stadium, podle ledovce Fernau v Tyrolsku, který v této době tvořil morény.

Z porovnání starých rytin zobrazujících alpské ledovce v období 1590–1850 s dnešním stavem konstatuje jejich výrazný ústup v době novodobého klimatického optima. Proces růstu ledovců začal v polovině 16. století a dosáhl maxima kolem roku 1850. Tento ústup Le Roy Ladurie podrobně popisuje na ledovci Mer de Glace u Chamonix, Bossonsském a Grindelwaldském ledovci a ledovci Brenvy v Itálii. Obdobně se zabývá ledovci na Aljašce. Klimatické projevy se ale podle současných paleoklimatických údajů geograficky velmi liší a výsledky jsou dosti různorodé (Le Roy Ladurie, 2011). Podobnou srovnávací studii provedl Hubert H. Lamb (Lamb, 1995) s velmi podobnými výsledky, jeho porovnání Alpských ledovců v roce 1850 a v 70. letech 20. století je na obrázku *Obrázek 14*.

Le Roy Ladurie popisuje také postup kolonizace Grónska, Islandu a severních oblastí Ameriky Vikingy s oteplováním klimatu a postupný zánik kolonií v dobách následného ochlazení. Vlhké a studené klima bylo provázáno šířením nemocí a vedlo i ke zvýšení dětské úmrtnosti v této populaci. Podle zkoumaných pramenů byla západní kolonie v Grónsku opuštěná již v roce 1350, východní se udržela do poloviny 15. století. K opouštění kolonií docházelo

především kvůli dostupnějším hospodářstvím ve Skandinávii. Poslední evidovaná vikinská demografická událost v Grónsku je sňatek zapsaný ve farní knize hvalseyského kostela roku 1408. Roku 1576 už angličtí mořeplavci nacházejí vikinské kolonie opuštěné (Le Roy Ladurie, 2011).

U klimatických změn je na větším území obtížné najít jedno vysvětlení pro stejné lidské aktivity v různých místech a dobách. Germánská migrace v 1. tisíciletí př. n. l. z původních území proběhla pravděpodobně kvůli silnému ochlazení, ale vikinská expanze dále na jih a na Island nastala v důsledku růstu populace po oteplení v 9. století v počátku středověkého klimatického optima, které umožnilo pěstování plodin ve Skandinávii a tím i růst populace. Z paleoklimatických údajů v západní Evropě a v severní části Atlantiku je středověké klimatické optimum datováno do období 950–1200, v letech 1150–1300 pak ve velké části Evropy. Toto teplé období se tedy nevyskytovalo regionálně rovnoměrně jako oteplení koncem 20. století. Teplotní maxima byla dosažena v oblasti Severního Atlantiku, Jižního Grónska, euroasijských arktických oblastí a některých částí Severní Ameriky. Ve střední Eurasii a severozápadní části Severní Ameriky naopak došlo ve stejné době k výraznému ochlazení (Le Roy Ladurie, 2011).

Le Roy Ladurie zpochybňuje pravidelné opakování procesu ochlazování klimatu i jeho neexaktně zobecňované geografické rozložení. Kritizuje také primitivní hledání cyklů ve vztazích mezi klimatem a lidským společenstvím. Objev jedenáctiletých slunečních cyklů vedl totiž k hledání projekce této periody na nejrůznější jevy na Zemi i v lidské populaci. Le Roy Ladurie se zabývá zejména obecným dopadem tohoto jevu na lidské dějiny a populace, ale zároveň je nejen kritikem jednoduchého klimatického determinismu, ale dokonce zpochybňuje vliv klimatických změn na lidskou společnost. Na základě nových výzkumů v oboru historické klimatologie svůj názor přehodnocuje a k tématu se opět vrací.

V trojdílné monografii *Histoire humaine et comparée du climat* se Le Roy Ladurie zabývá sekulárními změnami i fluktuacemi klimatu v různých obdobích lidských dějin ještě podrobněji (Le Roy Ladurie, 2004), (Le Roy Ladurie, 2006) a (Le Roy Ladurie, 2009).

Zdůrazňuje relativitu událostí, které se obecně považují za klimaticky dané. Ukazuje například, že hranice pěstování olivovníku se posouvala k severu v celém průběhu malé doby ledové a zejména v její velmi chladné periodě koncem 16. století. Tento paradox byl způsoben snahou pěstitelů oliv uspokojit rostoucí poptávku po olivovém oleji. Hranice pěstování olivovníku ustoupila k jihu až v období oteplování, kdy nastala konkurence levného oleje z jižních částí Evropy a z Tuniska.

Dalším takovým příkladem je pěstování vinné révy v oblastech kolem Saint-Denis severně od Paříže. Ve 14. století došlo k úpadku jejího pěstování nikoli z důvodu změny klimatu, ale proto, že se to přestalo vyplácet. V roce 1348 po moru prudce zdražila pracovní síla. Pěstování se začalo opět rozvíjet kolem roku 1560, kdy došlo k růstu populace přesto, že toto období již spadá do počátků malé doby ledové. Pěstování vinné révy přesto bylo v tomto období velice výnosné. Le Roy Ladurie zdůrazňuje, že mezi klimatickými faktory je třeba pečlivě geograficky rozlišovat a brát v úvahu i demografické a ekonomické faktory.

Například obilnářství může v různých částech Evropy ohrozit jiný charakter klimatu. Ve střední Evropě příliš vlhká léta, na severu nízké teploty a v jižní Evropě suchá období. Le Roy Ladurie tyto aspekty podrobně analyzuje v druhém díle své monografie, která se zabývá vlivem

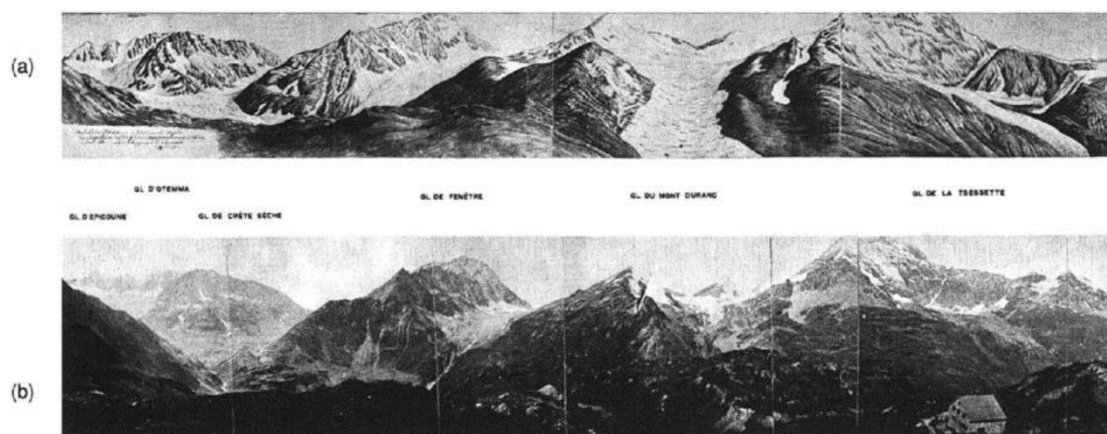
klimatu na dvě události, k nimž v malé době ledové ve Francii došlo, frondou (šlechtické povstání s cílem omezení královské moci 1648–1653) a Francouzskou revolucí (1789–1799) (Le Roy Ladurie, 2006). Obě události bývají spojovány s neúrodami způsobenými výkyvy počasí. V případě frondy šlo podle jeho závěrů spíš o kombinaci negativního očekávání ze zhoršených povětrnostních podmínek v letech 1647–1650 po tragických neúrodách v letech 1617–1643 a strachu z epidemie, který zpomalil hospodářský život i polní práce. Zhoršení klimatu tu tedy bylo jen pozadím historických událostí, které určovala politická situace a mocenské střety. Pro obyvatelstvo ale samozřejmě tyto neúrody vedly ke všem negativním demografickým důsledkům v kontextu dané doby.

Nepříznivé klimatické podmínky mají větší váhu až v delším časovém období. Mohou se považovat za spouštěcí faktor, ale jen jsou-li dány do kontextu se všemi ostatními okolnostmi. Za takovou událost považuje Francouzskou revoluci. Klimatické podmínky se ve Francii začaly zhoršovat již od konce 17. století. V zimě panovaly dlouhotrvající mrazy, léta byla chladná a deštivá. Jako při všech klimatických oscilacích tento charakter počasí byl střídán extrémně teplými a suchými léty a krátkými periodami s bohatou úrodou.

Pro obyvatelstvo byla velmi stresující nejen neúroda, opakující se mezi lety 1783 a 1789 téměř každý rok, ale zejména nezvykle tvrdé a dlouhé zimy, kdy nebyl dostatek paliva. Klimatické podmínky měly i podle odpůrců klimatického determinismu na vzniku Francouzské revoluce nezanedbatelný vliv.

Nejvýraznějším oponentem Le Roy Ladurieova pohledu na vliv klimatických změn na lidskou společnost byl již zmíněný britský meteorolog Hubert H. Lamb. Tento vliv nevnímal deterministicky, ale zastával názor, že lidé se vždy uměli klimatickým dopadům přizpůsobit a zmenšit jejich dopad (Lamb, 2013). Uvádí zde studie fosilního pylů, které ukazují na náhlou změnu ledovcové éry s borovým porostem na zalesnění duby, což odpovídá poměrně rychlým změnám klimatu. Obsáhle diskutuje složené účinky způsobené antropogenními vlivy a klimatickými změnami přírodního původu.

Obrázek 14 – Dva pohledy na stejné panorama v Alpách (jihozápadní Švýcarsko Val de Bagnes)



Poznámka: pohled a) akvarel H. C. Eschera z roku 1820, b) fotografie z roku 1974.

Zdroj: Podle (Lamb, 1995: s. 241).

V práci *Climate, history and the modern world* Lamb (Lamb, 1995) ale v souladu s pracemi Le Roy Ladurieho upozorňuje na nutnost rozdílného přístupu k analýze vlivu změn klimatu na společnost v preindustriálním období a po jeho začátku. Zvýšené koncentrace oxidu uhličitého podle něj téměř jistě ovlivňují klima na Zemi směrem k oteplování, ale pravděpodobně mnohem méně než byly původní odhady. Podle Lamba neexistuje nutný rozpor mezi mírným ochlazováním světového klimatu (například vlivem vulkanické činnosti nebo nižší intenzity slunečního záření) a periodami náhlého oteplování způsobeného účinkem zvyšujících se koncentrací oxidu uhličitého trvajících několik staletí (Lamb, 2013). Vyčerpání fosilních paliv by pak podle této práce mohlo být následováno postupným zaledněním.

Právě období novodobého oteplování se věnuje Le Roy Ladurie v posledním dílu monografie *Le réchauffement de 1860 à nos jours* (Le Roy Ladurie, 2009). Popisuje mnoho meteorologických epizod z tohoto období v různých částech planety, včetně nedávných povodní a větrných smrští v Evropě, které jsou označovány jako největší či nejhorší za posledních sto či tisíc let.

V interpretaci faktů identifikuje dvě názorové skupiny. Jednu, která vidí hlavní příčinu větší četnosti těchto úkazů v lepší registraci, hustotě osídlení, větším zalesnění krajiny i moderních způsobech šíření informací. Druhá skupina tuto situaci považuje za zcela novou, živelní katastrofy se podle nich zhoršují a opakují častěji. I když exaktně tento proces zatím není vysvětlen, obě skupiny připouštějí, že oteplování Země, které začalo před 150 lety, je pravděpodobnou příčinou těchto událostí.

4.3 Historická klimatologie střední Evropy

Konkrétní dopad variability sluneční aktivity na počasí a klima ve střední Evropě není ještě zcela vyjasněn. Nové poznatky však přinesla studie Mikhaěla Schwandera (Schwander et al., 2017), ve které použil nové časové řady denních synoptických situací ve střední Evropě v období 1763–2009 a analyzoval je ve vztahu k úrovni sluneční aktivity. Výsledky ukazují statisticky významně nižší počet dnů se západním a jihozápadním prouděním nad střední Evropou za nízké sluneční aktivity, souběžně se zvýšila četnost dní se severovýchodním a východním prouděním. Pro období 1958–2009 byl získán i podrobnější pohled. Řady denních hodnot průměrného tlaku na hladině moře v období nízké sluneční aktivity ukazují na snížení zonálního proudění se vzestupem četnosti blokace proudění mezi Islandem a Skandinávií (Schwander et al., 2017).

Tato analýza založená na pozorování klasifikace synoptických situací ukazuje, že 11-letý sluneční cyklus ovlivňuje ve střední Evropě atmosférické proudění zejména koncem zimy s chladnějšími podmínkami při nízké sluneční aktivitě, a naopak s teplejšími podmínkami při vyšší sluneční aktivitě. Pravděpodobnost velmi studeného proudění v zimě je podle této studie ve střední Evropě statisticky významně vyšší v obdobích nízké sluneční aktivity, než v obdobích s vysokou sluneční aktivitou.

Změny charakteru klimatu ovlivňovaly i šíření nakažlivých chorob (Biraben, 1975). Na vztah mezi šířením moru a klimatem v českých zemích v období let 1346–1419 upozornil Eduard Maur v práci *Příspěvek k demografické problematice předhusitských Čech* (1346–1419). Předpokládá,

že období mírných a vlhkých zim a teplá a vlhká léta spíše podporovala šíření epidemie, zatímco období se suchými a horkými léty a tuhými zimami šíření zastavovala (Maur, 1989). Vlastní mechanismus periodicit vzplanutí a vyhasínání morových epidemií ale dosud není znám.

Územím střední Evropy včetně České republiky se historicko-klimatologickými studiemi zabývají spolupracující týmy sdružující badatele z mnoha oborů pod vedením Christiana Pfistera, Rudolfa Brázdila, Ulfa Büntgena a dalších. Pomocí metod historické klimatologie vypracovali řadu studií, ve kterých mapují změny klimatu na tomto území za poslední 2000 let (Pfister, 2001: s. 12). V přehledu *Současná historická klimatologie a možnosti jejího využití v historickém výzkumu* R. Brázdil a O. Kotyza shrnují výsledky výzkumu v historické klimatologii a souvisejících oborech, popisují používanou metodiku a datové zdroje (Brázdil, Kotyza, 2001: s. 17–59).

Týmy kolem Rudolfa Brázdila vytvořily řadu komplexních regionálních studií historie klimatu v českých zemích i střední Evropě. V práci *Kolísání klimatu za posledních 2000 let* (Brázdil, 1994: s. 189–190) z *proxy dat* (viz Glosář), tedy nepřímých údajů, provádí rekonstrukci klimatických podmínek, které se vyskytovaly v minulosti. Příkladem zdrojů pro proxy data jsou údaje o pohybu ledovců, letokruhy, fosilní pyl, paleobotanické, půdní a jezerní sedimenty a geotermální vrty. Pro území České republiky se jako proxy data nejvíce využívají poznatky o rozloze alpských ledovců, analýza letokruhů stromů a geotermálních vrtů (Brázdil, 2009: s. 65–89). V kapitole *Český pohled na dějiny klimatu* v knize *Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování* jsou shrnuta použití a výsledky historicko-klimatologických metod pro české země za posledních 500 let (Brázdil, Kotyza, 2010: s. 25). Za toto období charakterizují dokumentární prameny využitelné pro rekonstrukci klimatu a uvádí mnoho příkladů z kulturních dějin klimatu v českých zemích. Využívají narativní prameny, nejrůznější písemné a grafické dokumenty, korespondenci i časnou žurnalistiku.

První měření teploty a tlaku vzduchu v českých zemích byla provedena v pražském Klementinu Josefem Steplingem a lékařem Johannem Karlem Rostem roku 1752. Měření teploty a tlaku vzduchu v klementinské observatoři nemají až do roku 1774 řady úplné. Souvislá řada klementinských měření teploty začíná až v roce 1775 (Nový, 1961). Z analýz těchto řad měření byla stanovena tzv. referenční období užívaná i v historické klimatologii.

Konzistentním pramenem jsou záznamy ekonomického charakteru související s počasím. Jako zdroj informací jsou k těmto výzkumům využívány písemné záznamy o cenách zemědělských plodin, velikosti úrody, začátku vinobraní, kvalitě vína, žádosti o snížení nebo prominutí daní, výdajích na opravu objektů poškozených extrémním počasím a mnohé další. Autoři jako příklad takových proxy dat uvádějí knihy počtů královského města Loun. Do knih počtů se pravidelně, vždy v sobotu, zaznamenávaly mzdy vyplácené za obecní práce v předchozím týdnu. Tyto práce byly závislé na počasí. Typicky se týkaly vysekáváním ledu u mlýnů na Ohři, odklizením sněhu ve městě, senoseče a žní (Brázdil, Kotyza, 2008).

Velmi podrobnou studii dlouhodobých změn i fluktuací klimatu v různých obdobích na území České republiky vydala skupina Rudolfa Brázdila ve volné publikační řadě *Dějiny historie počasí a podnebí v českých zemích, History of Weather and Climate in the Czech Land I.–X.* Bylo vydáno celkem deset svazků. V jednotlivých dílech jsou podrobně popsány hydrometeorologické

extrémy, povodně, sucha, silné větry, časně a pozdní mrazy a teplotní trendy na základě písemných pramenů a historických i novodobých meteorologických měření. Pracují rovněž s termíny sklizní a vinobraní, dendrochronologickými údaji, záznamy o výskytu kobylek a tzv. krvavých dešťů, hospodářskými, městskými a církevními záznamy. Sestavili dlouhodobé časové řady teplotních a srážkových indexů a z nich rekonstruují teploty vzduchu a srážkové úhrny. Z historicko-klimatologických údajů byly sestaveny chronologie historických povodní pro řeku Vltavu, Ohři a Moravu pro období 1351–2000.

Důsledky nástupu malé doby ledové pro populace Čech a Švýcarska popisují Christian Pfister a Rudolf Brázdil v práci *Social vulnerability to climate in the Little Ice Age: an example from Central Europe in the early 1770s* (Pfister, Brázdil, 2006: s. 115–129), kde shromáždili podrobnou klimatologickou evidenci a provedli analýzu kolísání klimatu. Dlouhodobý pokles teplot, patrný od roku 1530, graduje nejstudenejším obdobím let 1560–1600 a 90. let 17. století.

Z pohledu dopadů jsou ve střední Evropě určující teplotní a srážkové poměry v létě. Pro studená a vlhká léta v letech 1568–1599 je dokumentováno kolísání produkce vína v Dolních Rakousích, západních Uhrách a Württembersku. Řetězec neúrod začal v roce 1585 ve Švýcarsku, o rok později ve Württembersku a v roce 1587 v Dolních Rakousích a v západních Uhrách. Neúrody v té době měly hluboké důsledky i na výběr daní. Vinařství v té době bylo významným zdrojem příjmů. Autoři upozorňují, že vyšší cena vína a jeho snížená cukernatost vedla obyvatelstvo Dolních Rakous ke změně návyku pití vína na pivo.

Christian Pfister studoval vztahy mezi klimatem a produkcí obilovin, vína a mléka ve Švýcarsku pro 18. a začátek 19. století. Produkci v zemědělství negativně ovlivňovala deštivá léta a podzimy a chladná jara, zejména ztrátami při skladování důsledkem klíčení, plísní a škůdců. Ztráty mohly dosáhnout až třetiny objemu sklizně. Časté srážky ve vegetačním období luk vymývaly živiny, takže v následující zimě a na jaře klesala produkce mléka. Z dlouhodobého hlediska považuje za horší než hladomory hromadné úhyny dobytka. To úzce souvisí s dusíkovým cyklem před nástupem agrární revoluce na počátku 19. století. Dobytek byl do té doby chován jako zdroj hnoje, zdroje půdních živin, a tažné síly nutné k orání. Vztah mezi úhynem dobytka a kolísáním podnebí zatím nebyl studován, ale úhyn mohl být způsobován vodními parazity vyplavenými na louky při povodních (Brázdil, Kotyza, 2008).

Na základě dlouhých řad pozorování Brázdil a Kotyza upozorňují na měnící se vztah mezi kolísáním klimatu a reakcí lidské společnosti (Brázdil, Kotyza, 2010: s. 25). Tento proces byl jistě regionálně značně rozdílný a velmi komplexní. Společnost přešla od pasivního přijímání přírodních podmínek k aktivnímu a racionálnímu přístupu běžnému v posledních dvou stoletích.

Agrární revoluce 18. století (současně s průmyslovou revolucí, střídavé obdělávání polí - píce, obilniny, okopaniny, celoroční ustájení dobytka, zavádění strojů do zemědělství), kterou stimulovalo osvícenství, umožnila mnohem vyšší ochranu společnosti proti klimatickým výkyvům. Výskyt demografických krizí považují autoři za historicky podmíněný podle uplatňovaných sociálních a regulačních strategií. Lidská společnost se s nimi vyrovnávala různorodostí pěstovaných plodin a jejich importem, veřejnými zásobami a podporou sociálně slabých vrstev.

4.4 Shrnutí výsledků

Zásadním způsobem k poznání interakce lidské populace a klimatu přispěla v minulých desetiletích historická klimatologie a environmentální historie. V minulých 150 letech pozorujeme postupné oteplování klimatu připisované lidské industriální činnosti. Jak ukázaly práce citované v předchozím textu (Le Roy Ladurie, 2009), problém je mnohem komplexnější, protože ve 20. století prudce vzrostla sluneční aktivita na hodnoty nezaznamenané v předchozích 1 100 letech. Ve 20. století se podle uvedených studií klima oteplovalo kromě antropogenních faktorů i vlivem zvýšené sluneční aktivity.

Sluneční aktivita však v posledních 60 letech neroste, a od vysokého slunečního maxima v letech 1958–1959 má sestupný trend. V současnosti je na nízké úrovni blížící se Daltonovu minimu. Vzájemný poměr příspěvku úrovně sluneční aktivity a zvyšování obsahu CO₂ v atmosféře k jejímu ohřevu se s časem významně mění.

Dlouhodobá sluneční minima velmi dobře odpovídají malé době ledové a naopak středověké maximum sluneční aktivity odpovídá středověkému klimatickému optimu. V období dlouhodobých slunečních minim převládal typ klimatu charakteristický tvrdými a dlouhými zimami a poměrně chladnými a vlhkými léty.

Dlouhodobá pozorování a klasifikace synoptických situací střední Evropy ukazují jasný vliv 11-letého slunečního cyklu ve střední Evropě na atmosférické proudění zejména koncem zimy s chladnějšími podmínkami při nízké sluneční aktivitě, a naopak s teplejšími podmínkami při vyšší sluneční aktivitě. Zvyšuje se tak pravděpodobnost velmi studeného proudění v zimě v obdobích nízké sluneční aktivity, a snižuje se v obdobích s vysokou sluneční aktivitou (Schwander et al., 2017). Se změnami klimatu bylo v minulosti úzce spjato i šíření nakažlivých chorob (Biraben, 1975). V českých zemích se u vztahu mezi šířením moru a klimatem předpokládá, že období mírných a vlhkých zim a teplá a vlhká léta podporovaly šíření epidemie, zatímco v letech se suchými a horkými léty a tuhými zimami se šíření zastavovalo (Maur, 1989).

Klimatické modely v minulosti obsahovaly pouze hrubé odhady populačních změn. Nově koncipované modely však již zahrnují i projekce počtu obyvatel podle věku, pohlaví a dosaženého vzdělání (Cohen, 1995). Vliv změn klimatu na lidskou populaci je do velké míry dán schopností lidské společnosti se těmto změnám přizpůsobit. Snížení emisí zásadně závisí na technologickém pokroku a změně chování. Tyto jsou ovšem opět důsledkem změn sociodemografického složení populace, zejména s ohledem na věk a úroveň vzdělání.

Modelování vztahů mezi populací a klimatem a metodologii výzkumu těchto vazeb rozpracoval Robert W. Kates (Kates et al., 1985). Klasifikoval několik modelů, impaktní a interakční modely vlivu klimatu na lidskou společnost. Do modelů začleňuje i antropogenní faktory a zpětnovazebné principy. Jako zásadní pro míru a typ dopadu klimatických změn vidí sociokulturní a sociopřírodní podmínky, ve kterých sledované lidské společenství žije.

Kapitola 5

Sluncem dotovaná radiace z přírodního pozadí

V této části práce je proveden odhad počtu úmrtí na novotvary nejčtenější v České republice vyvolané zvýšením koncentrace kosmogenních radionuklidů a kosmického záření během období nízké sluneční aktivity (tedy zvýšeném riziku úmrtí) ve specifických podmínkách České republiky. Odhad počtu letálních nádorů indukovaných roční dávkou z přírodního radiačního pozadí je vyšší pro období let 2020–2040 během slunečních cyklů č. 25–26 (s nižší úrovní sluneční aktivity), než tomu bylo v obdobích s výraznější sluneční aktivitou (Podolská, Rychtaříková, 2017). Problematika kosmogenních radionuklidů v životním prostředí tak může v nastávajícím období nižší sluneční aktivity hrát mnohem větší roli pro lidské zdraví než v předchozích desetiletích.

Ionizující záření přírodního původu (záření z přírodního pozadí) je na Zemi přítomno od jejího vzniku a nesouvisí s aktivitami člověka. Expozice lidského organismu radiací z přírodního pozadí má dva hlavní zdroje, externí a interní záření. Internímu záření je populace vystavena *ingescí* (přijímáním potravy) a *inhalací* (vdechováním). Externímu zářením je vystavena z vnějšího prostředí (záření zemské kůry, kosmické záření) (Bencko aj., 2002).

Externí záření z přírodního pozadí má dvě části - kosmickou a terestrickou. Kosmická část, tedy *kosmické záření*, má tři různé složky podle původu záření, *galaktickou*, *sluneční* a *záření z radiačních (van Allenových) pásů Země*. Galaktická složka je tvořena z 85 % protony a 11 % jádry helia. Sluneční složka (sluneční vítr) je tvořena z 99 % protony. Záření radiačních pásů Země se skládá z protonů a elektronů různých energií zachycených v těchto pásech magnetickým polem Země (Kleczeck, 2002).

Geomagnetická aktivita může fyzikálně blokovat vliv kosmického záření. Intenzita *kosmického záření* na povrchu Země závisí na nadmořské výšce a zeměpisné šířce. Magnetické pole Země odklání nabitě částice tak, že v mezi 30°–60° jižní a severní zeměpisné šířky je intenzita záření asi o 10 % vyšší než na rovníku (Kuna, 2005). Na povrchu Země je nejvyšší expozice miony⁹ a ve vyšších nadmořských výškách roste podíl expozice elektrony. Ve výšce

⁹ Miony jsou vysoce nestabilní elementární částice s velmi vysokou rychlostí a záporným elektrickým nábojem. Mají velmi krátkou dobu života, ale díky relativistickým efektům dosáhnou povrchu Země.

10 km je nejvyšší expozice vysokoenergetickými protony, elektrony a neutrony. Pro mužskou populaci byla zjištěna výraznější citlivost organismu na kosmické záření než u žen (FRG, 1999).

Roční dávky radiace z přírodního pozadí i z dalších tj. umělých zdrojů, kterým je populace běžně vystavena, jsou včetně závislosti expozice na nadmořské výšce, zobrazeny na obrázku 15. Hodnoty odpovídají celosvětovému průměru radiační zátěže obyvatelstva. Specifické hodnoty radiační zátěže pro obyvatele České republiky jsou odvozeny v podkapitole 5.2.

Zdrojem terestrické složky záření z přírodního pozadí jsou především přírodní radionuklidy, které jsou *kosmogenního* nebo *terestriálního* původu. *Kosmogenní radionuklidy*¹⁰ vznikají obvykle v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země. S ohledem na radiační zátěž obyvatelstva jsou nejvýznamnějšími kosmogenními radionuklidy uhlík ^{14}C , tritium ^3H , beryllium ^7Be a sodík ^{22}Na (SÚRO, 2001). Jejich koncentrace je nepřímě úměrná úrovni sluneční aktivity, protože při nízké solární aktivitě je vliv kosmického záření silnější. Účinek těchto radionuklidů v životním prostředí na živé organismy je stochastický¹¹, tedy bezprahový (Bencko aj., 2002).

Nejdůležitějším kosmogenním radionuklidem je uhlík ^{14}C , který je produkován ve vyšších vrstvách atmosféry pomalými neutrony kosmického záření. Uhlík ^{14}C je produktem reakce $^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$ probíhající v atmosféře při interakci atomu dusíku s kosmickým zářením (Beer et al., 2012). Další kosmogenní radionuklid, beryllium ^7Be , vzniká v atmosféře interakcemi kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku. Transport těchto dvou radionuklidů v geosféře se velmi liší. Beryllium ^7Be se váže na aerosoly a je transportováno na povrch Země. Jeho poločas rozpadu je 53 dní. Radionuklid uhlíku ^{14}C s poločasem rozpadu 5730 let oxiduje na CO_2 a vstupuje do *globálního uhlíkového cyklu* mezi atmosférou, biosférou a oceány (Solanki, 2004). Prostorová diverzita radiační zátěže způsobené ^{14}C není významná. Roční efektivní dávka radionuklidu ^{14}C v lidském těle je $12\text{ }\mu\text{Sv}$ ¹² (SÚRO, 2001).

Radionuklid beryllia ^7Be se do lidského organismu dostává zejména ingescí (požitím) listové zeleniny. Takto se do organismu průměrně ročně dostane roční efektivní dávka $0,03\text{ }\mu\text{Sv}$ (Hůlka, Malátová, 2006). Poločas rozpadu beryllia ^7Be je 53 dní. Radiační zátěž způsobená ^3H , ^7Be a ^{22}Na je mnohem nižší než je tomu u ^{14}C . Tato dávka je sice nepatrná ve srovnání s dalšími zdroji v oblasti radiační zátěže, ale lidská populace je jí vystavována dlouhodobě.

Atmosféra je primárním zdrojem přírodního tritia ^3H . Radionuklid tritia ^3H s poločasem rozpadu 12 let vzniká reakcí neutronů kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku. Tritium se dostává do potravního řetězce společně s vodou a tak se stává součástí lidských tkání a je původcem vnějšího i vnitřního ozáření lidského organismu (SÚRO, 2001). Kosmogenní

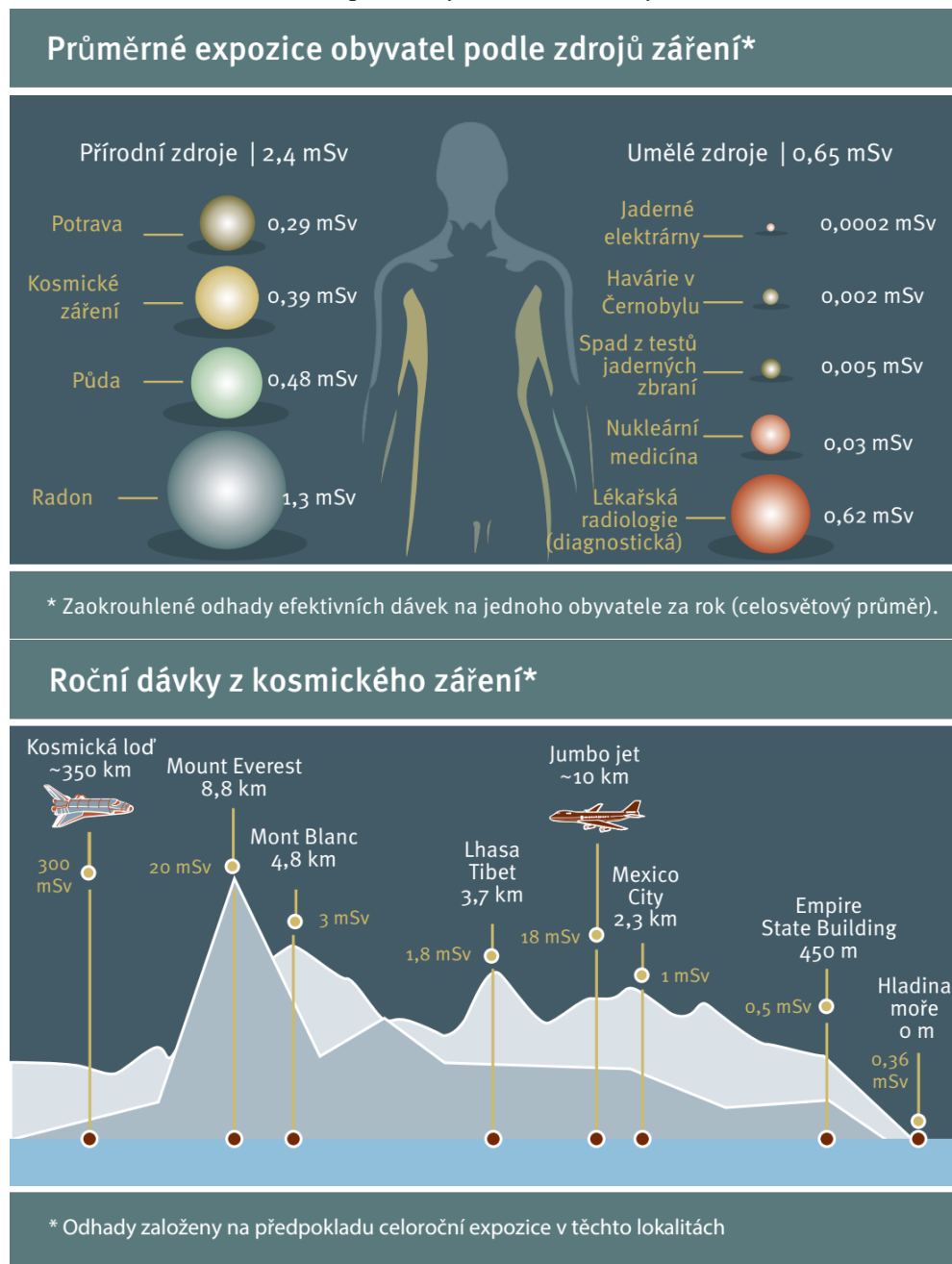
¹⁰ Radionuklidy jsou nestabilní nuklidy podléhající radioaktivní přeměně. Nuklid je látka složená z atomů totožného prvku. Prvky se však v přírodě vyskytují většinou jako směs různých izotopů (různých nuklidů stejného prvku). Například uhlík se vyskytuje jako směs izotopu ^{12}C a izotopu ^{13}C .

¹¹ Účinky ionizujícího záření se z hlediska lidského organismu dělí na deterministické (při dosažení určité dávky ionizujícího záření efekt zákonitě nastává), a stochastické (pravděpodobnost poškození organismu roste se zvýšením dávky záření). U deterministických účinků lze stanovit prahovou hodnotu, pod kterou k účinku nedochází. Ke stochastickému účinku dochází bez ohledu na velikost dávky a nelze tedy prahovou dávku stanovit.

¹² 1 Sievert [$\text{Sv} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] je jednotka dávkového ekvivalentu. Vyjadřuje množství absorbované energie v závislosti na typu ionizujícího záření. Roční dávka z přírodního pozadí je v ČR typicky $2,71\text{ mSv}$.

radionuklidy přispívají 8 % do celkové radiační zátěže (Kuna et al., 2005). Jejich působení na lidské zdraví je bezprahové (stochastické), což ovšem znamená, že riziko vzniká už při nízké expozici.

Obrázek 15 – Průměrné roční expozice obyvatel a roční dávky z kosmického záření



Zdroj: Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Další složkou radiační zátěže z přírodního pozadí je *terestriální záření*. Zdrojem je zejména radium ^{226}Ra a jeho dceřiné produkty, dceřiné produkty radonu ^{222}Rn , ^{220}Ra a izotopy uranu ^{238}U , ^{235}U , thorium ^{232}Th , draslík ^{40}K . Tato složka je na území České republiky velmi významná, a kvůli složení geologického podloží a je v 90 % lokalit vyšší, než je evropský průměr. Roční ekvivalentní dávka z terestriálního záření je 0,81 mSv, což je hodnota 5x vyšší než je celosvětový průměr (Hůlka, Malátová, 2006).

Karcinogenní účinek již při nízkých dávkách záření byl prokázán v epidemiologických studiích různých ozářených populací, kde byla pozorována zvýšená incidence onkologických onemocnění oproti srovnatelné kontrolní populaci. Z hlediska jedince roste s dávkou záření pravděpodobnost vzniku onemocnění, nikoliv intenzita či stupeň účinku (Klener, 2008).

5.1 Biologické účinky ionizujícího záření

Živé organismy obsahují vysoké procento vody, a podstatná část energie ionizujícího záření se při průchodu tímto organismem absorbuje právě ve vodě. Při průchodu záření vodou vznikají vysoce reaktivní produkty radiolýzy (hydroxylové radikály, vodíkové radikály, hydratované elektrony e_{aq} a velké množství peroxidu vodíku H_2O_2). Tyto látky mohou vyvolávat sekundární reakce s biologickými molekulami, tedy nepřímý účinek záření (SÚRO, 2001). Záření zde působí zprostředkovaně (nepřímo) změnou chemických vlastností látek v organismu. Přímý (terčový) účinek ionizujícího záření v živých organismech přenáší energii záření přímo na organickou molekulu. Dojde k rozštěpení vazeb v DNA buňky přímým fyzikálním působením záření. Buňky představují prostředí s poměrně vysokou koncentrací biologických molekul a je zde nutno brát v úvahu jak přímý, tak i nepřímý účinek záření (SÚRO, 2001).

Ionizující záření produkuje v živých buňkách zlomy buněčné DNA. Obecně mají radiační změny DNA různé podoby. Kromě jednoduchých a dvojitých zlomů vznikají také poškození bází, tzv. cross-linky uvnitř DNA a lokálně i degradace DNA. Často vznikají tato poškození dohromady s jednoduchými nebo dvojitými zlomy DNA (Klener, 2000),

Řada retrospektivních epidemiologických studií se věnuje souvislosti mezi vznikem dvojných zlomů a smrtelným nebo mutagenním účinkem záření včetně komplexním poškozením DNA. Četnost komplexních poškození je malá, ale mohou významně přispívat k výslednému radiobiologickému efektu. Zlomy DNA a následně chromosomální aberace jsou neslučitelné s životními funkcemi buňky. Dochází pak k zániku buňky při pokusu o dělení, kdy oddělení chromosomů neproběhne úspěšně. Některé typy aberací zachovávají v buňce téměř všechny geny ve funkční podobě. Tyto buňky se pak dále dělí, ale jejich vlastnosti mohou již být pozměněné. Buňky s pozměněnými dědičnými vlastnostmi jsou pro organismus nebezpečné, protože mohou způsobovat nádorové bujení (Klener, 2000).

Kromě reprodukční smrti buňky dochází po ozáření i k apoptóze (buněčné smrti). Působením enzymu p53 na počátku procesu dělení dojde k zániku buňky. Apoptóza je tak ochranou organismu před nádorovým bujením. Buňka, která nedokáže včas opravit vzniklé poškození je pro organismus riziková a dochází proto k jejímu zničení (Klener, 2008).

Ozáření lidského organismu může způsobovat chorobné změny projevující se v průběhu dnů až týdnů, jiné v průběhu roků a desetiletí. V minulosti byly rozlišovány časné a pozdní následky ozáření. V posledních desetiletích se pozornost hlavních biologických a medicínských studií zaměřovala spíše na vztah dávky a účinku (SÚRO, 2011).

Účinky ionizujícího záření se z hlediska lidského organismu dělí na deterministické (při dosažení určité dávky ionizujícího záření efekt zákonitě nastává), a stochastické (se zvýšením dávky roste pravděpodobnost poškození organismu). Stochastické účinky jsou důsledkem změn buněk, které přežily ozáření. Takto změněná buňka se může po jisté době latence (dle typu

postižené tkáně 5–20 let) rozvinout v nádor. Sebeopravné schopnosti organismu se tomu snaží zamezit a snižují pravděpodobnost tohoto vývoje. Současné medicínské výzkumy ale nedokládají žádné hodnoty dávek, pod nimiž by nedocházelo ke vzniku nádoru (Klener, 2008).

5.2. Expozice z přírodního pozadí

Intenzita kosmického záření na povrchu Země závisí na nadmořské výšce a zeměpisné šířce. Průměr efektivní dávky z tohoto zdroje je pro Českou republiku 0,35 mSv. Světový průměr expozice kosmickým zářením na hladině moře je 0,32 mSv, ve střední nadmořské výšce 0,46 mSv.

Různé typy záření, která vyvolávají stejný fyzikální efekt, nemusí vyvolat stejný biologický efekt. Proto se stanovuje tzv. *dávkový ekvivalent* (odhad biologického dopadu ionizujícího záření) jako faktor kvality násobený absorbovanou dávkou:

$$H = Q \cdot D \text{ [J.kg = Sievert]}, \quad [1]$$

kde H je dávkový ekvivalent, Q je faktor kvality záření a D absorbovaná dávka záření. Sievert (Sv) je jednotkou ekvivalentní dávky ionizujícího záření. Dávka 1 Sv jakéhokoli záření má identické biologické účinky jako dávka 1 Gy rentgenového nebo gama záření a vyjadřuje podíl množství absorbované energie v určitém typu tkáně v závislosti na typu ionizujícího záření. Stanovuje se tzv. *limit ekvivalentní dávky* pro snížení výskytu *deterministických* účinků (působících od určité úrovně) u obyvatelstva a tzv. *limit efektivní dávky* jako nejvyšší přijatelné riziko *stochastických* (bezprahových) účinků.

Limity pro obyvatele stanovuje vyhláškou Státní úřad pro jadernou bezpečnost v souladu se směrnicí Euratom Evropského parlamentu a Rady Evropské Unie. Obecné limity pro obyvatele z ozáření ze všech povolených nebo registrovaných činností za rok jsou pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a efektivních dávek z vnitřního ozáření stanoveny na 1 mSv. Limity pro radiační pracovníky jsou stanoveny vyšší, na 20 mSv ročně, nejvýše ale 100 mSv za 5 po sobě následujících let. Zvlášť se stanovují dávky pro mladistvé a pro ozáření oční čočky a malých ploch kůže (Česko, 2016).

Expozici z přírodního pozadí snižuje pobyt v budovách, který je ve výpočtu expozice zahrnut jako *occupancy factor*, s hodnotou 0,8 pro evropské populace a typ budovy je zahrnutý jako *shielding factor* s hodnotou 0,8. Výsledná expozice z kosmického záření je tedy pro populaci v České republice:

$$0,46 \text{ mSv} \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,29 \text{ mSv}. \quad [2]$$

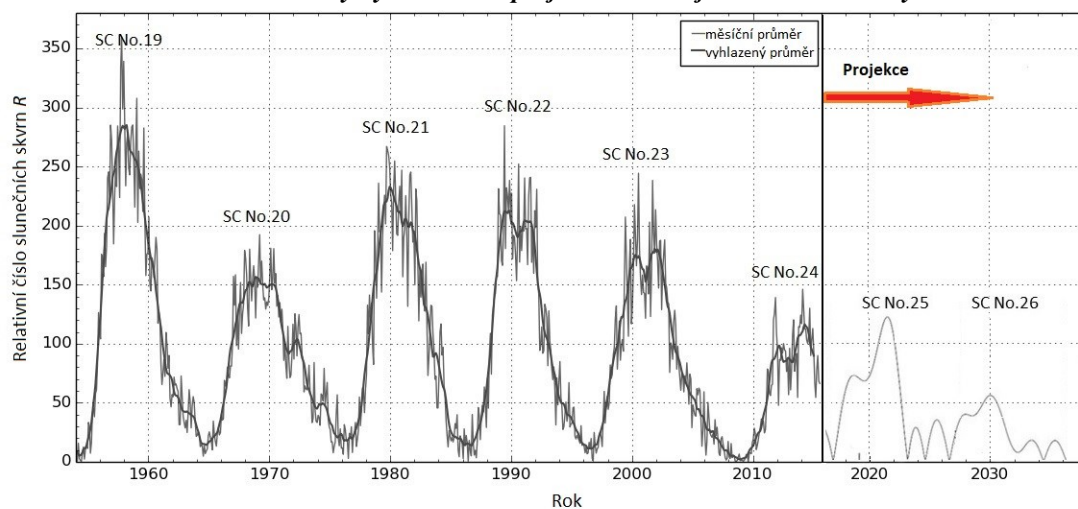
Velikost efektivní dávky závisí na stavu magnetosféry a van Allenových pásů kolem Země. Při silnějším slunečním větru je magnetosféra aktivní, a na zemský povrch proniká vlivem stínění magnetickým polem slunečního větru méně kosmického záření. V maximu sluneční aktivity je dávka o 10 % nižší než v běžném slunečním minimu.

Roční efektivní dávka z kosmické radiace ve výši 0,35 mSv byla odhadnuta pro sluneční cykly č. 19–22 s relativním číslem slunečních skvrn R v maximech slunečního cyklu v rozmezí 250–150. Odhad změny roční efektivní dávky z kosmického záření je pro období slunečních cyklů č. 23–26 v letech 2003–2040 pro střední zeměpisné šířky o 16 % vyšší než pro sluneční cykly č. 19–22. Maximum dalšího slunečního cyklu č. 25 v letech 2022–2023 je predikováno na rovněž velmi nízké úrovni (Kane, 2006).

Hodnota roční efektivní dávky z kosmického záření je odhadnuta pro sluneční cykly s hodnotami relativního čísla slunečních skvrn R v maximu 80–100 a dlouhá minima s nízkým počtem slunečních skvrn na 0,41 mSv. Dlouhodobé sluneční minimum je predikováno na období let 2020–2040 (Owens et al., 2012). V souladu s minulým 23., probíhajícím 24. a projektovaným 25. a 26. slunečním cyklem, bude sluneční aktivita velmi nízká v celém tomto období, (Podladchikova - Van der Linden, 2011; Shepherd, 2014). Tato projekce je zobrazena na obrázku 16. Vypočtené hodnoty složek radiace z přírodního pozadí jsou uvedeny v tabulce 21 (UNSCEAR: Annex B, 2000; Kuna et al, 2005). Ve výpočtech v této práci jsou zohledněny obě složky (vnitřní i vnější) roční dávky z přírodního pozadí v České republice.

Produkce kosmogenních radionuklidů je hlavním zdrojem uhlíku na Zemi a tuto produkci lze odhadnout přibližně 1,5–5 % celkového vstupu uhlíku ^{14}C do atmosféry, (Světlik et al., 2010). Lze tedy poměrně snadno provést odvození koncentrací z výměny mezi atmosférou a oceánským povrchem.

Obrázek 16 – Minulé sluneční cykly č. 19–24 a projekce následujících slunečních cyklů



Zdroj: upraveno podle <http://www.sidc.be>; (Shepherd, 2014; Usoskin, 2003; Podladchikova – Van der Linden, 2011).

Globální koncentrace uhlíku ^{14}C může být během inverze magnetického pole Slunce téměř zdvojnásobena. Modulační potenciál magnetického pole Slunce se v období moderního vysokého slunečního cyklu pohyboval mezi 300 a 1500 MV (Usoskin et al., 2011), a během dlouhodobého slunečního minima mezi roky 1638–1715 je odhadován na 100 MV (McCracken et al., 2004; Usoskin et al., 2007; Steinhilber et al., 2008). Změny sluneční modulace tedy mohou vést k faktoru 2–3 variability celkové produkce uhlíku ^{14}C .

Pro očekávaný nárůst dávky z kosmického záření, a následně i ingesční dávky, můžeme pro období nižší sluneční aktivity předpokládat v České republice roční průměrnou dávku z přírodního pozadí na úrovni 2,85 mSv (SÚRO, 2014). Naopak v období vyšší sluneční aktivity v období slunečních cyklů č. 20–23 (1964–2008) byla dávka stanovena 2,71 mSv. Roční průměrná dávka z přírodního pozadí H pro scénář nižší sluneční aktivity byla vypočtena jako $H = H'_{cr} + H_{tr} + H_{ig} + H_{ih} = 0,41 \text{ mSv} + 0,81 \text{ mSv} + 0,38 \text{ mSv} + 1,25 \text{ mSv} = 2,85 \text{ mSv}$, viz tabulka 21.

Tabulka 21 – Tabulka ročních dávek z radiace z přírodního pozadí

Zdroj	Roční dávka [mSv]	Roční dávka v dlouhodobém slunečním minimu [mSv]
Kosmická radiace (H'_{cr})	0,35	0,41
Ingesce (^{40}K , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{14}C) (H_{ig})	0,30	0,38
Inhalace (^{222}Rn , ^{220}Ra) (H_{ih})	1,25	1,25
Terestrická radiace (H_{tr})	0,81	0,81
Roční dávka z přírodního pozadí (H)	2,71	2,85

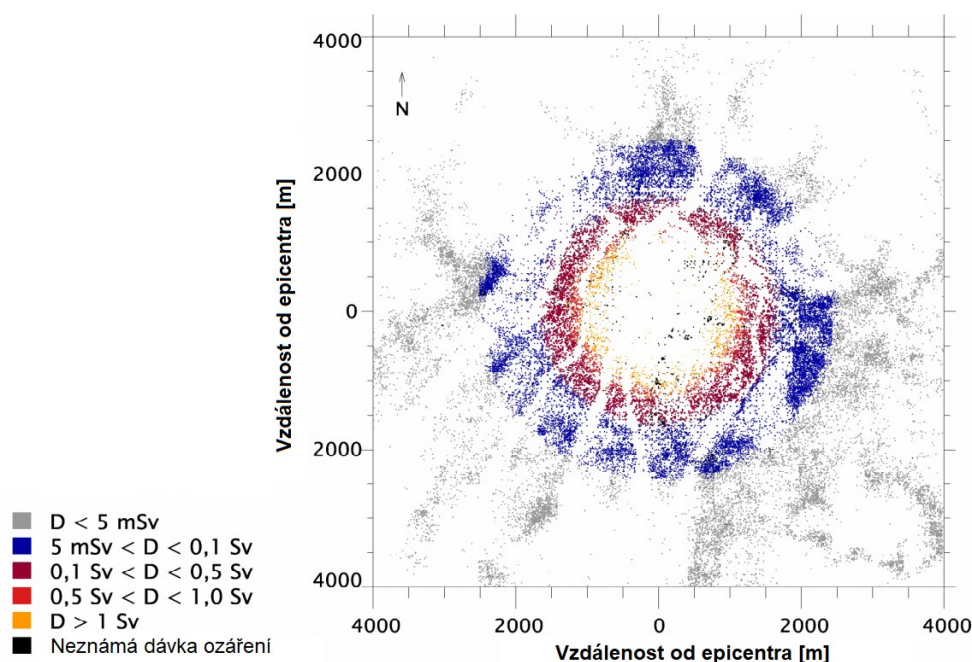
Zdroj: Vlastní výpočet z dat SÚRO, 2001, 2014.

V této disertační práci je uvažován rovněž scénář se započtením zvýšené dávky pozadí z umělých zdrojů podle výroční zprávy SÚRO 2011 (SÚRO, 2011). Roční průměrná dávka přírodního záření je pro tuto variantu na úrovni 3,3 mSv. Budeme tedy dále uvažovat tři různé výpočetní scénáře: 2,71 mSv, 2,85 mSv a 3,3 mSv.

5.3. Vliv radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost

Pro zjištění účinku radiace na lidský organismus byly použity základní poznatky o radiační karcinogenezi z unikátní studie dopadu radiace na lidské zdraví Life Span Study (LSS). Za základ výpočtů byla v této studii zvolena data o zemřelých na zhoubný nádor z populace obětí jaderného bombardování japonských měst. Z těchto analýz byly vypočteny koeficienty objektivní zdravotní újmy. V LSS byly zohledněny koeficienty rizika úmrtí na nádorová onemocnění, koeficienty zohledňující počet vyléčených nádorů a koeficienty dědičných poškození (ICRP, 2008).

Do studie byla zařazena kohorta 86 572 přeživších atomové výbuchy v Hirošimě a Nagasaki. Z těchto osob 48 % přežilo do 1. 1. 1998 (Preston et al., 2003, 2004). Na základě podrobného epidemiologického šetření byly stanoveny přesné celotělové dávky pro každou osobu. Velikost radiační dávky byla vypočtena v závislosti na vzdálenosti od epicentra v době výbuchu a toho v jakém objektu se zasažená osoba nacházela. Intenzita dávek ozáření jako funkce vzdálenosti od epicentra je vykreslena na obrázku 17.

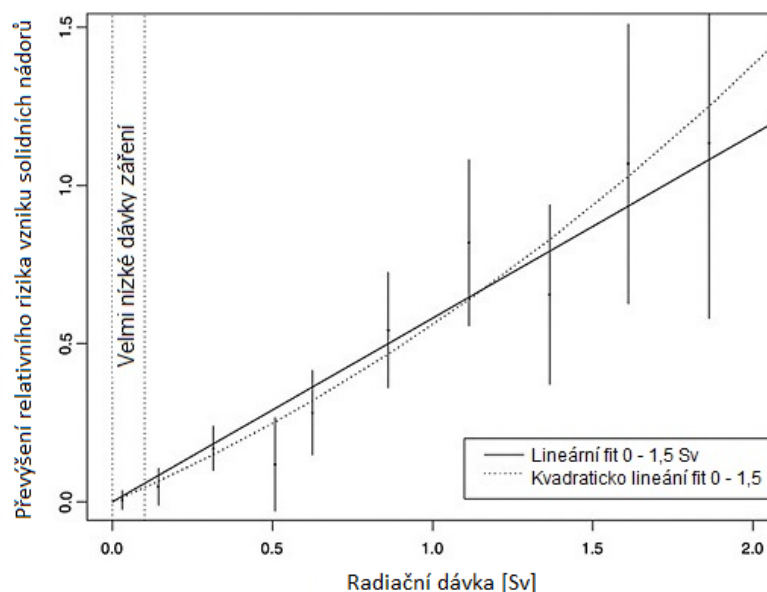
Obrázek 17 – Velikost radiační dávky v závislosti na vzdálenosti od epicentra použité v LSS

Zdroj: Upraveno podle <https://www.nap.edu/read/11340/chapter/15#318>.

Na tomto souboru osob byla s údaji o radiačních dávkách a celkovou anamnézou jednotlivců sledována incidence a úmrtnost na nádorová onemocnění v letech 1958 – 1998. Na základě těchto epidemiologických dat byly vytvořeny modely převýšení rizika dle věku, pohlaví a doby od ozáření. Byl rovněž vypočten vzestup relativního rizika výskytu solidních nádorů indukovaných radiací z LSS (Gonzales et al., 2012; Kellerer et al., 2001; Peterson, 2015; Sasieni et al., 2011). Tato studie je průběžně doplňována dalšími daty ze souborů osob zasažených radiační dávkou. Jde zejména o data ze studií zdravotního stavu uranových horníků, osob zasažených při havárii v závodě Maják v bývalém SSSR, osob zasahujících u havarovaného černobylského reaktoru a populace Běloruska, Ukrajiny a Ruska po Černobylské havárii (Klener, 2008).

Na základě studie LSS byl sestaven lineární bezprahový model převýšení relativního rizika vzniku solidních nádorů, v závislosti na radiační dávce. Závislost relativního rizika vzniku solidních nádorů na velikosti radiační dávky odvozená z lineárního modelu je vynesena na obrázku 18. Vykreslené hodnoty jsou zprůměrovány podle pohlaví a standardizovány tak, aby reprezentovaly jedince věku 60 let, kteří byli exponováni radiací ve věku 30 let v 10 intervalech výše dávek. Svislé čáry jsou 95% intervaly spolehlivosti. Spojité a tečkované čáry jsou odhady lineárních a lineárně-kvadratických modelů pro hodnoty relativního rizika ERR, odhadnuté u všech subjektů exponovaných dávkami v rozmezí 0 až 1,5 Sv.

Z dat odvozených pro střední a vyšší dávky ozáření se pro stanovení rizika pro nízké dávky nalezená hodnota relativního rizika ERR (Excess Relative Risk) převede *konverzním faktorem* DDREF (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor), který se používá k převodu akutních dávek na chronické. Běžně je dle doporučení ICRP (International Commission on Radiological Protection) používána hodnota $DDREF = 2$, volba jeho hodnoty výrazně ovlivňuje neurčitost směrem k nízkým dávkám ozáření (ICRP, 2008).

Obrázek 18 – Lineární model relativního rizika výskytu solidních nádorů indukovaných radiací

Poznámka: Hodnoty v grafu jsou průměry podle pohlaví a standardizovány tak, aby reprezentovaly jedince věku 60 let, kteří byli exponováni radiací ve věku 30 let v 10 intervalech výše dávek. Svislými čarami jsou vyznačeny 95% intervaly spolehlivosti. Spojité a tečkované čáry jsou odhady lineárních a lineárně-kvadratických modelů pro hodnoty relativního rizika ERR v rozmezí dávek 0 až 1,5 Sv.

Zdroj: Upraveno podle <https://www.nap.edu/read/11340/chapter/15#318>

Pro stanovení příspěvku z vnější i vnitřní radiační kontaminace se zavádí pojem *efektivní dávka*. Protože efektivní dávku nelze stanovit přímo měřením, je její velikost se určována nepřímou, pomocí veličin, které jsou principiálně měřitelné. Definice efektivní dávky bere v úvahu různou relativní radiosenzitivitu orgánů a tkání v lidském těle s ohledem na radiační újmu ze stochastických účinků (ICRP, 1991).

Efektivní (účinná) dávka ionizujícího záření E je dána následujícím empirickým vzorcem:

$$E = \sum w_T H_T = \sum w_T w_R D_{TR}, \quad [3]$$

kde H_T je dávkový ekvivalent [$\text{Sv} (\text{J kg}^{-1})$], w_T tkáňový váhový faktor, w_R radiační váhový faktor a D_{TR} obdržaná radiační dávka (ICRP, 1991). Hodnoty tkáňových i radiačních faktorů jsou publikovány a podle posledních výzkumů průběžně upřesňovány v mezinárodních doporučeních (ICRP, 2012; UNSCEAR: Annex B, 2000). Tkáňový váhový faktor w_T je stanoven 0,12 pro tlusté střevo, plíce, kostní dřeň a žaludek, 0,05 pro močový měchýř, prs, játra, jícen, štítnou žlázu, 0,20 pro pohlavní buňky a 0,01 pro povrch kostí a kůže (ICRP, 2012). Součet tkáňových faktorů v celém těle je 1. Radiační váhový faktor w_R se liší podle typu částic záření. Pro fotony a elektrony je 1, pro neutrony 5–20 v závislosti na jejich energii, 5 pro protony, pro alfa částice, těžká jádra a fragmenty štěpení je 20.

Obrázek 19 – Zvýšení počtu nádorů v závislosti na hodnotě kolektivní efektivní dávky

Poznámka: na 100 osob vystavených individuální efektivní dávce 100 mSv, lze v této skupině očekávat vznik 1 nádoru indukovaného radiační dávkou navíc (červeně) k 30–35 nádorům vzniklým z jiných příčin (šedou barvou).

Zdroj: Upraveno podle <https://www.nap.edu/read>.

Studie sledující incidenci fatálních nádorů zjistily, že při roční dávce 1 Sv zemře na záření indukované nádory ze sledovaného vzorku 100 000 osob 10 % sledované populace (Cohen, 2012). Tato studie uvádí předpoklad lineární závislosti efektivní dávky a letality i při nízkých dávkách záření. Pro efektivní roční dávku 10 mSv (miliSievert) je tedy letalita 0,1 % (FGR, 1994) and (FRG, 1999).

Absolutní zvýšení počtu nádorů je stanoveno v závislosti na hodnotě kolektivní efektivní dávky. Pokud je skupina 100 osob vystavena individuální efektivní dávce 100 mSv, lze v této skupině očekávat vznik jednoho nádoru indukovaného radiační dávkou navíc k 30–35 nádorům vzniklým z jiných příčin, obrázek 19. Vznik stejného počtu nádorů indukovaných radiací lze očekávat při ozáření 1 000 osob efektivní dávkou 10 mSv.

I malé dávky radiace tedy mají maligní účinek a pravděpodobnost poškození stoupá lineárně s efektivní dávkou. Na stochastický účinek radiace nemá vliv rozložení záření v čase, jejich účinek je tedy kumulativní (Cohen, 2012). Deterministickým účinkům je možné efektivně zabránit tím, že radiační dávka nepřekročí prahovou hodnotu. U stochastických účinků není možné jejich vzniku zcela zabránit, ale pouze snížit pravděpodobnost jejich výskytu (SÚRO, 2014).

5.4 Model absolutního a relativního rizika a výpočet atributivního rizika přežití

Modely rizika obecně vyjadřují funkční závislost velikosti rizika na vnějších faktorech. Z primárních dat odvozených v Life Span Study (LSS) pro ozáření středními a vyššími dávkami je odhadnuto převýšení relativního rizika ERR (Excess relative Risk) pro nízké dávkové příkony (Gonzales et al., 2012; Kellerer et al., 2001; Peterson, 2015; Sasieni et al., 2011).

V radiobiologické praxi jsou aplikovány dva přístupy. První přístup předpokládá, že riziko rakoviny vyvolané radiační expozicí je úměrné základním (obvyklým) rizikům dané země a je reprezentováno převýšením¹³ relativního rizika (*ERR*)¹⁴, zatímco druhý přístup předpokládá, že převýšení absolutní riziko (*EAR*, Excess Absolute Risk) je pro všechny země stejné jako pro Japonsko. Parametry *ERR* a *EAR* modelu publikované ve zprávě *National Research Council of the National Academies BEIR VII* (NRC, 2006) pro incidenci a úmrtnost na solidní nádory indukované expozicí radiační dávkou jsou uvedeny v tabulce 22. Parametry modelů odvozených z incidence a úmrtnosti na zhoubné novotvary jsou uvedeny pro lokalizace v jednotlivých orgánech. Odlišnost těchto dvou přístupů je patrná v dalších výpočtech (tabulka 23).

V České republice je základní riziko incidence i úmrtí u mnoha typů solidních nádorů specifických pro místní populaci oproti Japonské populaci z LSS odlišná. Podle metodiky doporučení ICRP (ICRP, 1991) se proto provádí tzv. *transport* na cílovou populaci.

Výsledky analýzy z populace obětí jaderného bombardování japonských měst LSS poskytují modelové parametry pro incidenci i úmrtnost na novotvar tlustého střeva (C18), zhoubný novotvar žaludku (C16) a zhoubný novotvar průdušky - bronchu a plíce (C34).

Zobecněný model Poissonových měř *ERR* a *EAR* v závislosti na dávce záření je dán rovnicí:

$$ERR \text{ a } EAR = \beta_s * d * \exp [\gamma * e + \eta * \ln(a/60)], \quad [4]$$

kde β_s je parametr pro diferenciaci pohlaví (β_m pro muže, β_f pro ženy), d je dávka ozáření, γ a η jsou parametry věku při ozáření (e) a dosaženého věku (a).

Tabulka 22 – Parametry *ERR* a *EAR* modelu pro incidenci a úmrtnost na solidní nádory indukované expozicí radiační dávkou

Druh tkáně	ERR model				EAR model			
	β_m	β_f	γ	η	β_m	β_f	γ	η
Tlusté střevo (C18)	0,63	0,43	-0,30	-1,40	3,20	1,60	-0,41	2,80
Plíce (C34)	0,32	1,40	-0,30	-1,40	2,30	3,40	-0,41	5,20
Žaludek (C16)	0,21	0,48	-0,30	-1,40	4,90	4,90	-0,41	2,80

Zdroj: BEIR VII report, p. 272; parametry regresního modelu (viz rovnice 4) na 10 000 člověkoroků a dávku=1Sv, β_s je parametr pro diferenciaci pohlaví (β_m pro muže, β_f pro ženy), d je dávka ozáření, γ a η jsou parametry podle věku při ozáření (e) a dosaženého věku (a).

Hodnocení rizika vzniku solidních nádorů indukovaného expozicí radiační dávkou vychází z bezprahového lineárního modelu (BEIR VII s. 269):

$$\lambda(s, a, b, d) = \lambda(s, a, b) * [1 + \beta_s * ERR(e, a) * d], \quad [5]$$

$$\lambda(s, a, b, d) = \lambda(s, a, b) + \beta_s * EAR(e, a) * d, \quad [6]$$

¹³ Pojem převýšení rizika je uváděn v české epidemiologické praxi pro hodnoty rizik, které se srovnávají vzhledem k neexponované populaci (Klener, 2008).

¹⁴ *ERR* je poměr rizika/míry onemocnění/úmrtí v populaci exponované radiaci k riziku/míře onemocnění/úmrtí v neexponované populaci. *EAR* je rozdíl těchto rizik/měr.

kde $\lambda(s, a, b)$ je míra úmrtnosti dle pohlaví s , dosaženého věku a , kohorty narození b v referenční populaci (bez zvýšeného rizika), $\beta_s * ERR(e, a)$ a $\beta_s * EAR(e, a)$ je faktor zvýšení absolutního rizika ve věku a na 1 Sv při ozáření ve věku e (NRC, 2006).

Na základě metodiky BEIR VII (s. 275) je pomocí kombinace obou výsledků (založených na ERR a EAR) vypočteno atributivního riziko přežití (LAR). Příslušná specifická LAR podle pohlaví pro incidenci nebo úmrtnost na solidní nádory založená na LSS, jsou vážené průměry obou odhadů (LAR_ERR s váhou 0,7 a LAR_EAR s váhou 0,3) v logaritmickém měřítku. Pro zhoubný novotvar průdušky, bronchu a plíce (C34) je schéma vážení opačné.

Vztah pro výpočet atributivního rizika přežití je definován jako:

$$LAR(e, d) = \sum_{a=e+L}^{\omega} M(d, e, a) * S(a)/S(e), \quad [7]$$

kde L je doba latence ($L = 5$ pro solidní nádory), $S(a)/S(e)$ je pravděpodobnost přežití do věku a za podmínky dožití do věku e , a je dosažený věk, e je věk při expozici (NRC, 2006).

Incidence solidních nádorů je popsána soustavou rovnic [8]:

$$\begin{aligned} M(d, e, a) &= EAR(d, e, a) && \text{s } EAR \text{ modelem pro převýšení absolutního rizika} \\ M(d, e, a) &= ERR(d, e, a) * \lambda_i(a) && \text{s } ERR \text{ modelem pro převýšení relativního rizika.} \end{aligned}$$

Úmrtnost na solidní nádory je pak popsána soustavou rovnic [9]:

$$\begin{aligned} M(d, e, a) &= EAR(d, e, a) * \lambda_m(a) / \lambda_i(a) && \text{s } EAR \text{ modelem} \\ M(d, e, a) &= ERR(d, e, a) * \lambda_m(a) && \text{s } ERR \text{ modelem,} \end{aligned}$$

kde $\lambda_m(a)$ základní úmrtnost¹⁵ na solidní nádory ve věku a , dle pohlaví a jednotek věku (NRC, 2006).

Tímto postupem podle popisu v rovnicích 4–9 byly vypočteny odhady převýšení absolutních a relativních rizik incidence a úmrtí na solidní nádory indukované dávkou z přírodního pozadí. Průběhy převýšení hodnot ERR a EAR jsou vykresleny na obrázcích 20 a 21. Lze vidět, že parametr EAR klesá s věkem při expozici, ale zvyšuje se s dosaženým věkem.

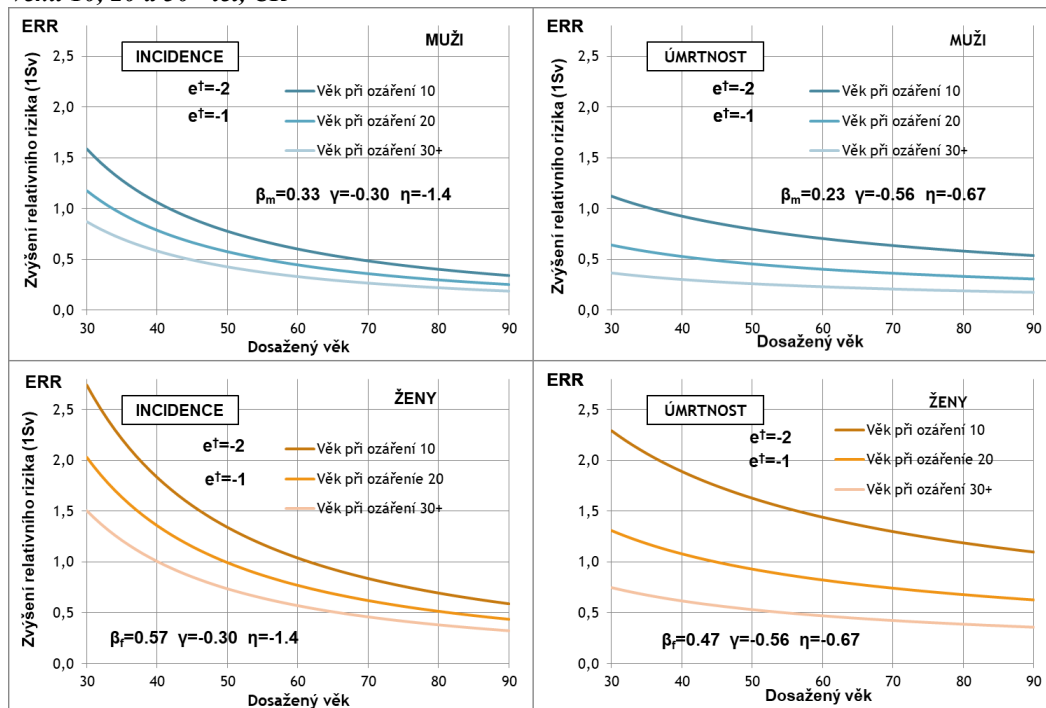
Na rozdíl od modelu s parametrem ERR vykazuje silný nárůst s dosaženým věkem (obrázek 20), protože model EAR vyjadřuje převýšení rizika jako rozdíl mezi exponovanou a neexponovanou populací. Pro ženy je vypočtené převýšení ERR a EAR vyšší než pro muže. Stejně tak ERR a EAR pro incidenci jsou u žen vyšší v porovnání s profilem úmrtnosti.

Vypočtená příslušná atributivní rizika přežití LAR pro diagnózy zhoubný novotvar tlustého střeva (C18), zhoubný novotvar žaludku (C16) a zhoubný novotvar průdušky - bronchu a plíce (C34) pro věk při ozáření ve věku 10 a 30 let jsou uvedena v tabulce 23. Atributivní riziko přežití LAR pro incidenci i úmrtnost na novotvar tlustého střeva (C18) indukovaných radiací je u mužů vyšší než u žen. LAR (incidence i úmrtnost) pro zhoubný novotvar žaludku (C16) ve věku 10 let při ozáření mírně vyšší pro ženy, ve věku 30 let při ozáření je srovnatelný pro obě pohlaví.

¹⁵ Za základní úmrtnost je zde považována úroveň úmrtnosti neexponované populace.

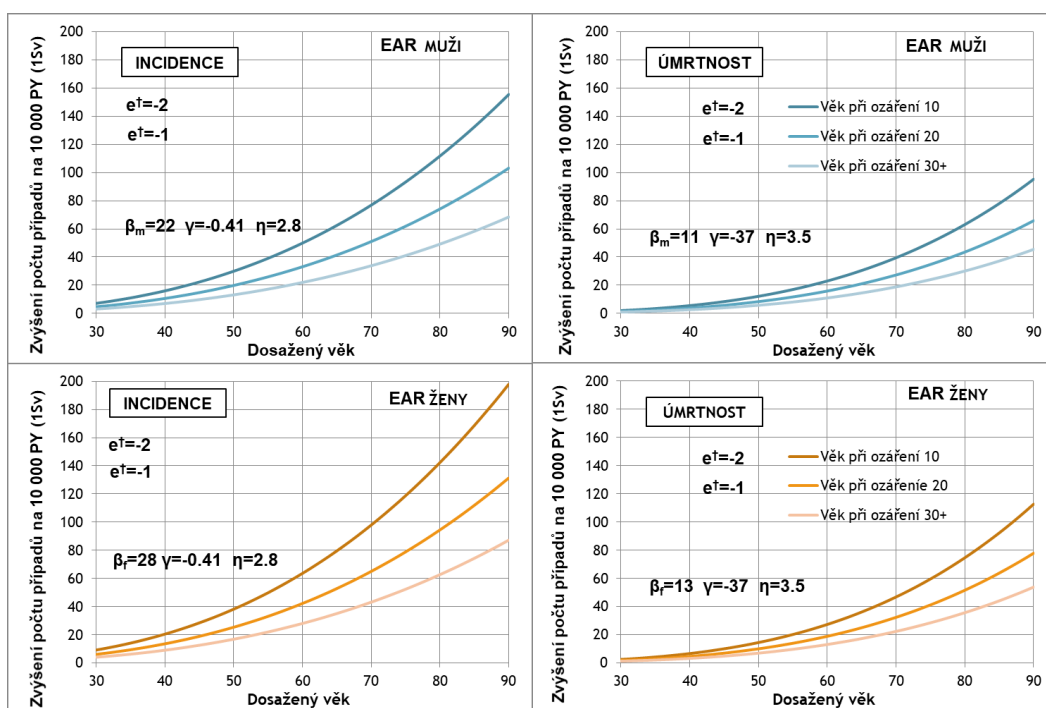
Atributivní riziko přežití LAR pro zhoubný novotvar plic (C34) pro obě věkové skupiny při ozáření je signifikantně vyšší u žen než u mužů.

Obrázek 20 – Odhady převýšení relativních rizik solidních nádorů z chronické expozice 1 Sv ve věku 10, 20 a 30+ let, ČR



Zdroj: Podolská, K., Rychtaříková, J. 2017. Impact of cosmic-origin background radiation on human survival in the Czech Republic. *Demografie*, 2017, vol. 59, s. 131-148.

Obrázek 21 – Odhady převýšení absolutních rizik solidních nádorů z chronické expozice 1 Sv ve věku 10, 20 a 30+ let, ČR



Zdroj: Podolská, K., Rychtaříková, J. 2017. Impact of cosmic-origin background radiation on human survival in the Czech Republic. *Demografie*, 2017, vol. 59, s. 131-148.

Tabulka 23 – Odhad atributivního rizika přežití C18, C34, C18 věk při expozici 10 a 30 let, počty případů na 100 000 osob exponovaných dávkou 100 mSv v České republice

LAR incidence solidních nádorů pro věk při ozáření 10 let v letech 2009-2011						
	Muži			Ženy		
Novotvar	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF
tlustého střeva (C18)	287	434	256	178	209	133
plic (C34)	255	360	189	378	536	280
žaludku (C16)	439	50	64	439	58	71
LAR incidence solidních nádorů pro věk při ozáření 10 let v letech 2009-2011						
	Muži			Ženy		
Novotvar	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF
tlustého střeva (C18)	117	188	109	77	91	57
plic (C34)	225	308	165	309	408	224
žaludku (C16)	312	36	46	309	41	50
LAR incidence solidních nádorů pro věk při ozáření 30 let v letech 2009-2011						
	Muži			Ženy		
Novotvar	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF
tlustého střeva (C18)	125	238	131	77	112	67
plic (C34)	114	199	90	168	295	132
žaludku (C16)	191	28	33	191	32	36
LAR incidence solidních nádorů pro věk při ozáření 30 let v letech 2009-2011						
	Muži			Ženy		
Novotvar	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF	LAR výpočet z EAR	LAR výpočet z ERR	Složený a upravený pomocí DDREF
tlustého střeva (C18)	52	104	56	34	50	30
plic (C34)	100	171	78	137	226	106
žaludku (C16)	136	20	24	135	22	26

Zdroj: Podolská, K., Rychtaříková, J. 2017. Impact of cosmic-origin background radiation on human survival in the Czech Republic. Demografie, 2017, vol. 59, s. 131-148.

Pro vyčíslení konkrétního dopadu změn úrovně sluneční aktivity byly vypočteny počty případů incidence a úmrtí na některé solidní nádory v České republice na 100 000 osob exponovaných dávkou z přírodního pozadí podle různých scénářů. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 24. Výpočet byl proveden pro tři scénáře, období s vyšší sluneční aktivitou (2,71 mSv), období dlouhodobého slunečního minima (2,85 mSv) a scénář s odhadem pro zvýšení hodnoty radiace z přírodního pozadí kosmogenního i terestrického původu (3,30 mSv). Výsledný efekt je měřitelný pro obě pohlaví. Počty případů i úmrtí na nádorová onemocnění v dlouhodobém horizontu rostou se stoupající dávkou ozáření pro všechny tři sledované diagnózy (zhoubný novotvar tlustého střeva (C18), zhoubný novotvar žaludku (C16) a zhoubný novotvar průdušky -

bronchu a plíce (C34)). Výpočet ukazuje na zvyšování incidence i úmrtí pro obě věkové skupiny při ozáření (ve věku 10 i 30 let).

Tabulka 24 – Počty případů incidence a úmrtí na některé solidní nádory v České republice na 100 000 osob exponovaných dávkou v mSv

Dávka [mSv]	2,71	2,85	3,30	2,71	2,85	3,30
Odhad LAR pro incidence pro věk při ozáření 10 let						
Novotvar	MUŽI			ŽENY		
tlustého střeva (C18)	6,93	7,28	8,43	3,60	3,79	4,39
plíc (C34)	5,11	5,38	6,23	7,58	7,97	9,23
žaludku (C16)	1,73	1,82	2,11	1,93	2,03	2,35
Odhad LAR pro úmrtnost pro věk při ozáření 10 let						
Novotvar	MUŽI			ŽENY		
tlustého střeva (C18)	2,95	3,10	3,59	1,56	1,64	1,90
plíc (C34)	4,47	4,70	5,44	6,06	6,38	7,38
žaludku (C16)	1,24	1,31	1,52	1,36	1,43	1,66
Dávka [mSv]	2,71	2,85	3,3	2,71	2,85	3,30
Odhad LAR pro incidence pro věk při ozáření 30 let						
Novotvar	MUŽI			ŽENY		
tlustého střeva (C18)	3,54	3,72	4,31	1,81	1,91	2,21
plíc (C34)	2,43	2,55	2,96	3,59	3,78	4,37
žaludku (C16)	0,89	0,94	1,08	0,98	1,03	1,19
Odhad LAR pro úmrtnost pro věk při ozáření 30 let						
Novotvar	MUŽI			ŽENY		
tlustého střeva (C18)	1,53	1,61	1,86	0,80	0,84	0,97
plíc (C34)	2,13	2,23	2,59	2,88	3,03	3,51
žaludku (C16)	0,64	0,67	0,78	0,69	0,73	0,84

Zdroj: Podolská, K., Rychtaříková, J. 2017. Impact of cosmic-origin background radiation on human survival in the Czech Republic. Demografie, 2017, vol. 59, s. 131-148.

5.5 Shrnutí výsledků

Výsledky uvedené v této kapitole ukazují, že zvýšená expozice kosmickým zářením a nárůst koncentrace kosmogenních radionuklidů v období nízké sluneční aktivity signifikantně zvyšuje celoživotní riziko onemocnění nebo úmrtí na solidní nádory (střev, plic a žaludku) u mužů i žen (Podolská, Rychtaříková, 2017). Odhad celoživotního rizika vyvolaného roční dávkou radiace z přírodního pozadí v období let 2008–2040 je signifikantně vyšší pro sluneční cykly č. 24–26, kdy se předpokládá nižší sluneční aktivitu než v předchozích obdobích.

Atributivní riziko přežití *LAR* pro incidenci i úmrtnost na novotvar tlustého střeva (C18) indukovaných radiací je u mužů vyšší než u žen. *LAR* (incidence i úmrtnost) pro zhoubný novotvar žaludku (C16) ve věku 10 let při ozáření mírně vyšší pro ženy, ve věku 30 let při ozáření je srovnatelný pro obě pohlaví. Atributivní riziko přežití *LAR* pro zhoubný novotvar plic (C34) pro obě věkové skupiny při ozáření je signifikantně vyšší u žen než u mužů. Výpočtem bylo dokázáno měřitelné zvýšení počtu případů i při malých dávkách jakými jsou změny roční dávky z přírodního pozadí indukované změnami sluneční aktivity.

Expozice obyvatelstva ze zdrojů záření ve zdravotnictví je sice mnohem vyšší než z přírodního pozadí, ale je aplikována pouze na část populace. Naproti tomu dávky přírodního pozadí ovlivňují celou populaci bez výjimky a dlouhodobě. Odhad roční dávky záření ze zdrojů ve zdravotnictví pro Českou republiku činí přibližně 0,3 mSv ročně. Tato hodnota byla ovšem stanovena v roce 1996, kdy moderní diagnostické techniky, jako jsou multidetektory CT, atd., ještě nebyly tak široce dostupné. V současnosti je tato dávka v USA z lékařských zdrojů odhadována na 5 mSv ročně (Cohen, 2012). Pro srovnání, typická dávka přijatá během transatlantického letu (Evropa - Severní Amerika) z galaktického kosmického záření je 0,05 mSv (FGR, 1994). V případě maximální expozice mimořádnou extraterestrickou událostí se odhaduje zvýšení až o faktor 10. V nadcházejícím období dlouhodobého slunečního minima předpovídaného na roky 2020–2040 bude znamenat, že kosmogenní radionuklidy v našem prostředí budou mít mnohem větší vliv na lidské zdraví, než tomu bylo v uplynulých desetiletích, kdy byla úroveň sluneční aktivity vysoká.

Kapitola 6

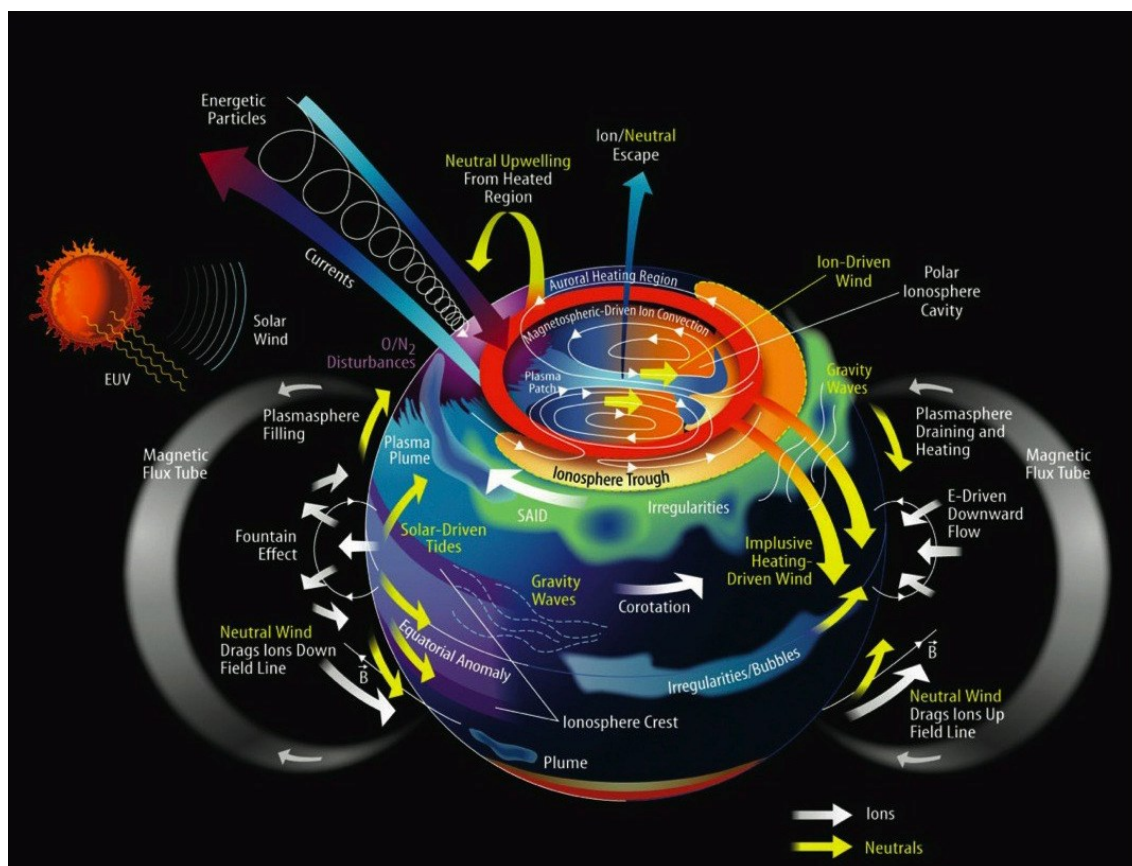
Vliv magnetického pole na lidský organismus

Změny magnetického pole Země, prostupujícího i celou biosféru, indukují ve vodičích, kterými je i každá živá tkáň, elektrické pole. Přímé působení vysokoenergetického slunečního záření, zvláště během slunečních bouří, má měřitelný dopad na živé organismy včetně člověka (Katsavrias et al., 2013). Biomedicínské pokusy potvrdily změny v kardiogramech vyšších živočichů pod vlivem výkyvů elektromagnetického pole, kterému byli vystaveni (Cornelissen, 2002). Přirozeně tak lze očekávat, že se i změny v zemském magnetickém a elektrickém poli projeví na srdeční a nervové činnosti člověka.

Geosféra je vystavena závažným epizodickým změnám, které souvisejí s heliosférickými poruchami. Změny prostředí jsou sledovány v klidových i narušených stavech, jsou budovány magnetohydrodynamické modely, které popisují fyzikální procesy probíhající za narušených podmínek (např. urychlení elektronů v radiačních pásích při magnetických bouřích, které se často objevují spontánně a bez prekurzorů) a na tomto základě se snaží předpovídat míru těchto změn. Magnetosféra je rozsáhlá trojrozměrná struktura, jejíž prostorově vzdálené části mohou být rychle a přímo propojeny plazmovými jevy. Stejně jako v systému ionosféra-termosféra je v systému magnetosféra-ionosféra celá řada velmi složitých vazeb, na které mají poruchy heliosféry zásadní dopad. Jeho hlavní součásti a interakce v něm jsou zobrazeny na obrázku 22.

Zpoždění geomagnetické bouře za sluneční erupcí je 25–60 hodin. Ve středních zeměpisných šířkách (tedy i na území České republiky) mají geomagnetické bouře obvykle čtyři fáze. Typický je rychlý začátek bouře s prudce stoupající intenzitou horizontální složky geomagnetického pole s trváním 2,5–5 minut. K tomu dochází zhušťováním magnetických siločar zemského magnetického pole vlivem jejich stlačování meziplanetární rázovou vlnou slunečního větru. Během následující počáteční fáze (*Initial phase*), která trvá maximálně několik hodin, se dále zvýší intenzita horizontální složky magnetického pole vlivem prošlé meziplanetární rázové vlny. Během hlavní fáze (*Main phase*) dochází k propojení geomagnetických siločar se siločarami magnetického pole unášeného plazmoidem od Slunce, což urychlí *rovníkový prstencový proud* a dojde k oslabení intenzity horizontální složky magnetického pole. Tento pokles může trvat několik hodin až jeden den. V závěrečné fázi (*Recovery phase*) dochází k rozpadu rovníkového prstencového proudu vlivem plazmové nestability a difuze. Intenzita horizontální složky magnetického pole Země se během několika hodin až dní vrací k původním hodnotám (Kleczek, 2002: 255).

Obrázek 22 – Komplexita proudů v magnetosféře a ionosféře kolem Země



Poznámka: Energetic particles – energetické částice, currents - proudy, neutral upwelling from heated region – proudění neutrálů z oblasti ohřevu, ion/neutral escape – výstup iontů a neutrálů, auroral heating region – oblast aurorálního ohřevu, magnetospheric driven ion connection – iontové propojení tažené magnetosférou, ion-driven wind – ionty tažený vítr, polar ionosphere cavity – polární ionosférická dutina, gravity waves – gravitační vlny, plasmasphere draining and heating – plazmasférický odtok a ohřev, magnetic flux tube – magnetické silokřivky, E-driven downward flow – E-indukovaný tok směrem dolů, impulsive heating-driven wind – impulzní ohřevem indukovaný vítr, irregularities - turbulence, ionosphere trough – ionosférický kanál, neutral wind drags ions up/down field line – neutrální vítr ionty tažené nahoru/dolů podél silokřivek, ions - ionty, neutrals - neutrály, irregularities/bubbles – turbulence/bubliny, corotation – korotace, plume - dutina, ionosphere crest – ionosférický hřeben, equatorial anomaly – rovníková anomálie, fountain effect – fontánový efekt, solar driven tides – sluneční slapy, plasma plume – plazmová vlečka, plasmasphere filling – plnění plazmasféry, O/N₂ disturbances - O/N₂ poruchy, solar wind – sluneční vítr, EUV - extrémní ultrafialové záření.

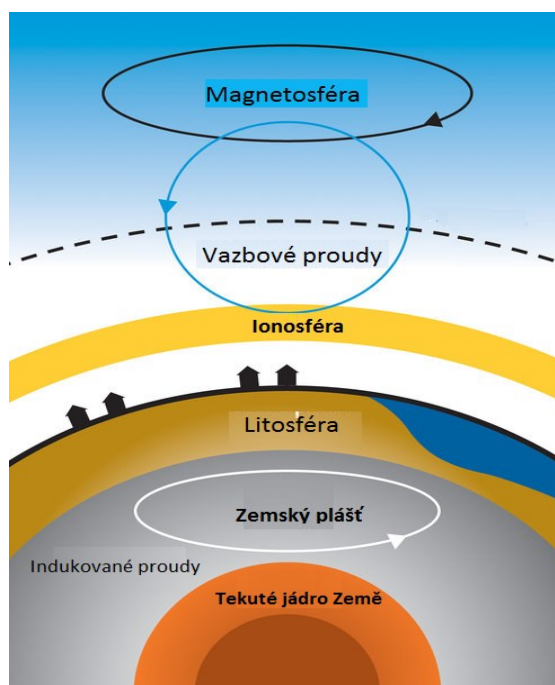
Zdroj: Upraveno podle ESA, http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/06/Current_complexity.

Změny v magnetickém poli Země způsobené slunečními bouřkami se projevují i změnou elektrického pole mezi ionosférou a povrchem Země. Toto pole je ovlivňováno i indukovanými proudy z tekutého jádra Země v zemském plášti. Zdroje magnetického pole na povrchu Země jsou schematicky zobrazeny na obrázku 23. Jeho intenzita na povrchu Země je přibližně 60 000 nT u pólu a 30 000 nT na rovníku (Jursa et al., 1985: s. 4-7).

Měřeními družic ESA SWARM bylo zjištěno, že tzv. *Birkelandovy proudy*¹⁶ jsou silnější na severní polokouli a jsou proměnlivé podle roční doby (Tsui et al., 2012). U projevů magnetického pole lze tedy předpokládat i sezónní variabilitu. Birkelandovy proudy tečou v atmosféře ve dvou vrstvách na denní a noční straně Země. Během geomagnetické bouře tečou tyto proudy až desetkrát větší než v klidovém stavu magnetosféry. Během těchto bouří dochází k urychlování částic i elektrolyze částic v horních vrstvách atmosféry (Kleczek, 2002).

Kvantifikovat dopad změn magnetického pole na konkrétním místě na Zemi je možné pomocí měření pozemních magnetometrů. Tato měření se provádí pomocí celosvětové sítě SuperMAG používající 3D vektorová měření. Na území České republiky jsou tato měření prováděna geomagnetickou stanicí Geofyzikálního ústavu AV ČR Budkov v Jižních Čechách (BDV, 49,08° N, 14,02° E) (Gjerloev, 2009, 2012).

Obrázek 23 – Zdroje magnetického pole na povrchu Země



Zdroj: Upraveno podle ESA/DTU, http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/10/Magnetic_field_sources

Je stanovován denní součet indexu geomagnetické aktivity *Kp*. Název tohoto indexu pochází z německého Kennzahl planetar. Zavedl ho Julius Bartels v roce 1949 a je nejčastěji používanou charakteristikou magnetické aktivity. Jeho hodnota pro celou planetu je stanovována každé tři hodiny v kvazilogaritmické škále a je bezrozměrný. Je měřen na dvanácti pozorovacích stanicích rozmístěných v různých místech na Zemi. Velmi klidnému geomagnetickému poli odpovídá hodnota 0, velmi narušenému geomagnetickému poli 9. Hodnota 4 a vyšší odpovídá klasifikované geomagnetické bouři (Jursa et al., 1985: s. 4-28). *Kp* index byl zpětně rozšířen až do roku 1932 a

¹⁶ Elektrické proudy v magnetosféře Země a pohyby řídkého plazmatu ve vysokých vrstvách atmosféry, které dotuje sluneční vítr a meziplanetární magnetické pole a pohyby řídkého plazmatu ve vysokých vrstvách atmosféry.

tyto hodnoty jsou katalogizovány v Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ Helmholtz-Zentrum) v německé Postupimi¹⁷.

Síla geomagnetických bouří je měřena i indexem *Dst* (Disturbance Storm Time). Měření se provádí pozemními magnetometry. Odchytky od normální hodnoty jsou v době magnetických bouří vždy záporné a jsou způsobeny tzv. prstencovým proudem elektronů a protonů. Tyto částice driftují v magnetosféře v rovině rovníku napříč zemskými silokřivkami. Drift je způsoben zakřivením silokřivek a gradientem magnetického pole dle vzdáleností od Země. *Dst* v rozmezí hodnot -50 – -150 nT se vyskytne několikrát měsíčně, -150 – -300 nT několikrát za rok a *Dst* větší než -500 nT jen několikrát za sluneční cyklus (Jursa et al., 1985: 10-28).

6.1 Metoda grafických modelů podmíněných nezávislostí

Metoda grafických modelů podmíněných nezávislostí je robustní nástroj mnohorozměrné statistické analýzy, který umožňuje zkoumat struktury podmíněných závislostí v souborech dat, včetně časových řad různých typů proměnných pomocí grafové reprezentace. V této práci je tato metoda použita k popisu a přehlednému znázornění struktury vzájemných závislostí časových řad denních počtů zemřelých na analyzované příčiny smrti a časových řad slunečních a geomagnetických parametrů ve sledovaných obdobích 30 dní před a po nejvýraznějších slunečních bouřích v letech 1994–2015. V této podkapitole je popsán postup výpočtu grafických modelů obecně, specificky grafických modelů se smíšenými proměnnými (proměnnými různého typu) a analýza jejich testové statistiky (*deviance*). Grafické modely podmíněných nezávislostí jsou zde použity jako tzv. *grafické modely podmíněných nezávislostí se smíšenými proměnnými* (Whittaker, 1990: s. 345–373). Těmito modely se rozumí grafické modely podmíněných nezávislostí, které kombinují časové řady proměnných různých typů. Modelování podmíněných nezávislostí v množině časových řad umožňují modely s neorientovanými grafy. Cílem výpočtu je porovnat strukturu podmíněných nezávislostí složek náhodného vektoru X pomocí vhodného grafického modelu pro časové řady denních počtů zemřelých na analyzované příčiny smrti vždy v období 30 dní před a 30 dní po sluneční bouři.

Analyzovaná data jsou ve formě realizace normálně rozděleného náhodného vektoru a jednotlivé časové řady analyzované v této práci jsou v grafickém modelu reprezentovány jako vrcholy neorientovaného grafu a jejich vzájemná podmíněná závislost je reprezentována hranou mezi vrcholy grafu (viz obrázek 25). Cílem je získat maximálně věrohodný odhad vzájemných vztahů mezi proměnnými v modelu a na jeho základě sestavit grafický model (Zichová, 2004). Zabýváme se tedy strukturou vzájemné závislosti jeho jednotlivých složek. Výchozí je množina všech grafů podmíněných nezávislostí, z nichž jsou vybrány ty, jež vykazují nejlepší shodu s daty.

Grafický model s grafem G je systém rozdělení pravděpodobnosti náhodného vektoru X splňujících podmíněné nezávislosti dané grafem G . Speciálním případem grafického modelu je tzv. *saturovaný model* s úplným grafem, který má všechny dvojice vrcholů spojené hranou a je tedy úplným grafem určen. Dalším pojmem analýzy grafických modelů je *klika*, definovaná jako

¹⁷ http://www-app3.gfz-potsdam.de/kp_index/description.html

maximální úplný *podgraf*. Jejím rozšířením o další vrcholy vznikne podgraf, který již není úplný (Whittaker, 1990: s. 58–62).

Náhodný vektor X má mnohorozměrné normální rozdělení s nulovou střední hodnotou a varianční maticí $V = \text{var}(X)$ ¹⁸, která je symetrická a pozitivně semidefinitní. Tato matice má diagonální prvky: $\sigma_{ii} = \text{var } X_i$ a prvky mimo diagonálu: $\sigma_{ij} = \text{cov}(X_i, X_j)$ ¹⁹.

Odhadem varianční matice V je výběrová varianční matice S prvky na diagonále, $i \neq j$:

$$s_{jj} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \text{ a s prvky mimo diagonálu } s_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (x_{ri} - \bar{x}_i)(x_{rj} - \bar{x}_j). \quad [10]$$

Pokud je varianční matice V pozitivně definitní, existuje k ní i inverzní varianční matice $D = \text{var}(X)^{-1} = V^{-1}$ a d_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, k$ jsou jejími prvky. (Zichová, 2007). Ke konstrukci grafického modelu podmíněných nezávislostí je nutné nejprve určit párové korelace mezi časovými řadami reprezentovanými vrcholy grafu. Párové korelace zjistíme z inverzní matice ke kovarianční matici reziduí odhadovaného modelu. (Whittaker, 1990). Při výpočtu hledáme maximálně věrohodný odhad varianční matice V , za podmínek daných grafickým modelem. Výběr se provádí přímým výpočtem postupem uvedeným v podkapitole 6.3.

Pro výběr modelu, který má nejlepší shodu s daty byly vyvinuty selekční algoritmy v rámci věrohodnostního i bayesovského přístupu. V této práci se omezíme na věrohodnostní přístup, kde je základním nástrojem selekčních algoritmů testová statistika *deviance*. Devianci definujeme jako $dev^f(G) = 2(l_S - l_G)$, kde l_S je maximum logaritmické věrohodnostní funkce v saturovaném modelu a l_G je maximum logaritmické věrohodnostní funkce v modelu s grafem G (Whittaker, 1990: s. 158). Deviance grafického modelu s grafem G pak má tvar:

$$dev(G) = n\{(\hat{S}\hat{D})^T - \ln[\det(\hat{S}\hat{D})] - k\}, \quad [11]$$

kde $\hat{D} = \hat{V}^{-1}$ a \hat{V} je maximálně věrohodný odhad varianční matice V v grafickém modelu s grafem G založený na náhodném výběru z mnohorozměrného normálního rozdělení. Odhady \hat{D} a \hat{V} jsou s pravděpodobností 1 určeny jednoznačně (Zichová, 2004). Výběrová varianční matice S je maximálně věrohodným odhadem varianční matice V v saturovaném modelu s úplným grafem. Deviance má asymptoticky χ^2 rozdělení a je testovou statistikou pro test shody modelu s grafem G proti alternativě saturovaného modelu. Počet stupňů volnosti f pro χ^2 rozdělení deviance modelu s grafem G je roven počtu chybějících hran v grafu G a závisí na pravděpodobnostním rozdělení dat (Zichová, 2004).

Deviance grafického modelu s grafem G je vypočtena iterací pomocí tzv. IPF algoritmu popsaného v podkapitole 6.3. Výpočty grafických modelů byly provedeny v programovacím prostředí Mathematica 8 pomocí procedury Backward, která aplikuje selekční algoritmus a

¹⁸ Rozptyl $\text{var } X$ je definován jako $\text{var } X = E(X - EX)^2$, kde EX je střední hodnota. Měří rozsah kolísání hodnot, jichž náhodná veličina nabývá kolem střední hodnoty, je tedy mírou variability.

¹⁹ Kovariance náhodných veličin X, Y je definována předpisem $\text{cov}(X, Y) = E(X - EX)(Y - EY)$, z čehož jednoznačně plyne vztah $\text{cov}(X, X) = \text{var } X$.

postupně ubírá hrany ze saturovaného modelu s úplným grafem (algoritmus backward). Výpočet probíhá v těchto krocích:

- i. Určení systému k -rozměrných normálních rozdělení pro X a popis množiny parametrů. Pro mnohorozměrné normální rozdělení je nezávislost charakterizována varianční maticí $V = \text{var}(X)$ nebo její inverzí D .
- ii. Volba grafického modelu, který budeme testovat na shodu s daty.
- iii. Konstrukce věrohodnostní funkce.
- iv. Určení neznámých parametrů pomocí maximalizace věrohodnostní funkce přes množinu těchto parametrů. Požadavky na věrohodnostní funkci vyplývají z volby grafického modelu.
- v. Test shody vybraného grafického modelu s daty. Testová statistika (deviance) je rovna dvojnásobku rozdílu maximalizovaných logaritmických věrohodnostních funkcí. První je maximalizována bez omezení, druhá s omezením daným vybraným grafickým modelem, protože deviance má χ^2 – rozdělení (Borgelt; Kruse, 2002). Proto lze posoudit, zda grafický model datům vyhovuje.

6.2 Analýza deviance

Jak již bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, ke konstrukci grafického modelu podmíněných nezávislostí je třeba znát párové korelace mezi proměnnými v modelu. Statistická významnost těchto korelací je testována pomocí testového kritéria. Pro účely testování grafických modelů podmíněných nezávislostí je zavedena statistika, která vychází z odhadu parametrů modelu metodou maximální věrohodnosti (zlogaritmování funkce a hledání jejího maxima). Tato statistika (*deviance*, $\text{dev}^f(G) = 2(l_S - l_G)$) je dvojnásobkem rozdílu mezi logaritmem věrohodnosti grafického modelu úplného grafu (značíme $l(S)$, hypotetický model, u kterého jsou modelové parametry a vstupní data identické, jeho věrohodnost je maximální) a logaritmem věrohodnosti grafického modelu zkoumaného grafu (značíme $l(\hat{V})$, s omezeným počtem parametrů, které jsou odhadnuty metodou maximální věrohodnosti) (Whittaker, 1990: s. 170–177).

Výsledný model denního počtu zemřelých na danou příčinu se snažíme nalézt pomocí prediktorů (zde časových řad slunečních a geomagnetických indexů) s využitím určitého počtu parametrů. Model s n parametry je model s úplným grafem, kde veškerá variabilita přechází do systematické složky. Model s k parametry je model se zkoumaným grafem, je-li vyloučen jeden nebo více prediktorů ($m < k$ parametrů). Model s podgrafem zkoumaného modelu s $m - 1$ parametry (konstantou - průměrem). Pro model s prázdným grafem jde veškerá variabilita do náhodné složky.

Analogicky s analýzou rozptylu testujeme, zda se oba modely ve svých predikčních schopnostech statisticky významně liší. Statistika *difference deviancí* je v tomto výpočtu testové kritérium pro rozdíl mezi modelem se zkoumaným grafem a modelem s jeho podgrafem (Whittaker, 1990: s. 185–190):

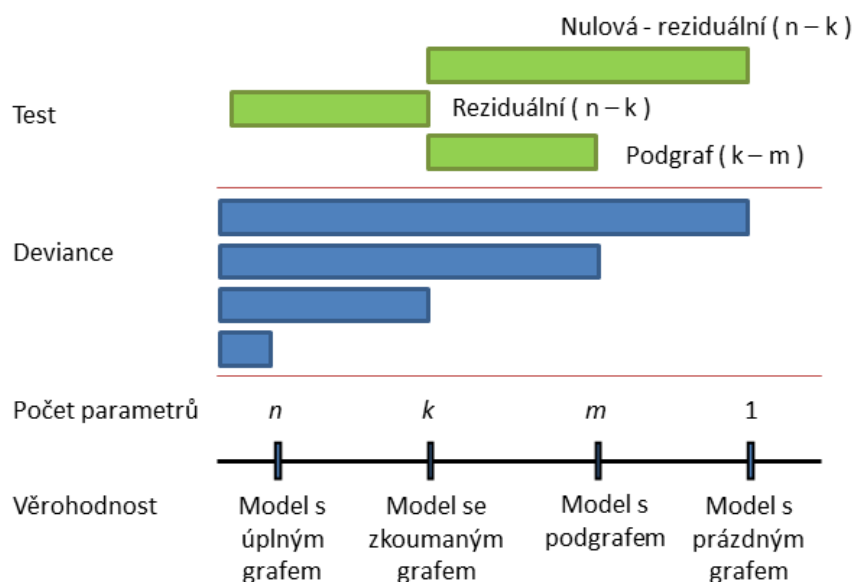
$$\text{dev}^* = - [\text{dev}^f_2 - \text{dev}^f_1] = \text{dev}(G_2) - \text{dev}(G_1). \quad [12]$$

Diference deviancí je tedy $dev^* > \chi^2_{1-\alpha}(k - m)$, kde $\chi^2_{1-\alpha}$ je kvantil χ^2 rozdělení, m je počet odhadovaných parametrů modelu s podgrafem, k je počet parametrů zkoumaného modelu, pak je submodel nevhodný, protože je příliš zjednodušující.

Testujeme tedy, zda ve zkoumaném modelu nechybí významný prediktor modelu, můžeme testovat, zda se od sebe liší zkoumaný model a model s úplným grafem. Jako testové kritérium je použita *reziduální deviance* a počet stupňů volnosti pro kvantil χ^2 rozdělení je dán rozdílem mezi počtem proměnných (tedy počtem parametrů modelu s úplným grafem) a počtem parametrů zkoumaného modelu (Edwards, 2000).

Pro test, zda zkoumaný model vysvětluje vůbec nějakou variabilitu ve srovnání s prostou konstantou, testujeme, zda se od sebe liší zkoumaný a nulový model. Jako testové kritérium zde použijeme rozdíl reziduální a nulové deviance. Počet stupňů volnosti pro kvantil χ^2 rozdělení je dán počtem parametrů zkoumaného modelu zmenšeným o 1. Princip testování grafického modelu podmíněných nezávislostí s nejlepší shodou s daty je schematicky znázorněn na obrázku 24.

Obrázek 24 – Testování grafického modelu pomocí deviance



Poznámka: Model s k parametry je model se zkoumaným grafem, je-li vyloučen jeden nebo více prediktorů ($m < k$ parametrů). Model s podgrafem zkoumaného modelu s $m - 1$ parametry (konstantou - průměrem). Pro model s prázdným grafem jde veškerá variabilita do náhodné složky.

Zdroj: Upraveno podle (Edwards, 2000).

Jak už bylo uvedeno, pro selekci grafického modelu s nejlepší shodou s daty je zvolen úplný graf, zkonstruuje se věrohodnostní funkce a určí neznámé parametry pomocí její maximalizace přes množinu těchto parametrů. Provede se test shody vybraného grafického modelu s daty. Jako testová statistika je použita deviance. Výpočet deviance vynechaných hran je proveden pomocí IPF (Iterative Proportional Fitting) algoritmu. Seleční algoritmy pro grafické modely podmíněných nezávislostí jsou podrobně popsány v knize (Whittaker, 1990: s. 182–185). Tento algoritmus testuje model s grafem G_2 proti alternativě modelu s grafem G_1 obsahujícím oproti G_2 navíc jednu nebo více hran. Jako testová statistika je použita difference deviancí $dev(G_2) - dev(G_1)$.

s asymptotickým χ^2 rozdělením o $f_2 - f_1$ stupních volnosti, kde f_2 jsou stupně volnosti pro $dev(G_2)$ a f_1 jsou stupně volnosti pro $dev(G_1)$. Překročí-li deviance (zde difference deviancí) kritickou hodnotu příslušného χ^2 rozdělení, zamítáme testovaný model ve prospěch alternativního modelu s grafem s více hranami (Whittaker, 1990: s. 223).

6.3 Selektce modelu a popis výpočetní metody

Výsledný grafický model podmíněných nezávislostí je pak selektován tímto postupem (Whittaker, 1990: s. 241–246):

- i. Určení systému k-rozměrných normálních rozdělení pro X a popis množiny parametrů. Pro mnohorozměrné normální rozdělení je nezávislost charakterizována varianční maticí $V = var(X)$ nebo její inverzí D .
- ii. Volba grafického modelu, který budeme testovat na shodu s daty.
- iii. Konstrukce věrohodnostní funkce.
- iv. Určení neznámých parametrů pomocí maximalizace věrohodnostní funkce přes množinu těchto parametrů. Požadavky na věrohodnostní funkci vyplývají z volby grafického modelu.
- v. Test shody vybraného grafického modelu s daty. Testová statistika (deviance) je rovna dvojnásobku rozdílu maximalizovaných logaritmických věrohodnostních funkcí.

První funkce je maximalizována bez omezení, druhá s omezením daným vybraným grafickým modelem, protože deviance má χ^2 - rozdělení. Proto lze posoudit, zda grafický model datům vyhovuje (Borgelt; Kruse, 2002).

Testování vstupních dat probíhá ve dvou následujících krocích:

- i. Testování nezávislosti logaritmických dat ($\log K/K_{t-1} = \log K_t - \log K_{t-1}$) pomocí testu znamének diferencí, kde K_t je hodnota realizace náhodného vektoru v čase t a K_{t-1} je hodnota realizace náhodného vektoru v čase $(t-1)$.
- ii. Testování normality logaritmických dat (Borgelt; Kruse, 2002).

IPF algoritmus (Iterative Proportional Fitting) je iterační algoritmus, který pro dvě hustoty g^0 a f k-rozměrného náhodného vektoru X , hledá hustotu g^∞ , která má stejnou interakční hustotu jako g^0 a identické marginální rozdělení jako f na podmnožinách množiny vrcholů $V = (v_1, \dots, v_k)$. Žádná z těchto podmnožin a_i nesmí být částí jiné za podmínky: $\bigcup_{i=1}^m a_i$.

V n -tém kroku platí: $g_{ab}^{n+1} = g_{a|b}^n f_a$. Za a volíme v cyklu postupně kliky grafu, b potom určíme jako doplněk $b = V \setminus a$. IPF algoritmus pro vyhledávání grafů, které nejlépe popisují konkrétní data je podrobně popsán v knize (Whittaker, 1990) na stranách 256–260. Tyto dva tzv. backward algoritmy (Chýna, 2002) vycházejí z úplného grafu. Východím je úplný graf, jeho deviance je položena rovna 0 ($dev^f = 0$). Výpočet deviance vynechaných hran je proveden pomocí IPF algoritmu. Výpočet byl řešen v programovém prostředí Mathematica 8.

Je vybrána hrana s nejmenší nevýznamnou deviancí a vyloučena z grafu. Pokud jsou všechny deviance v grafu významné, výpočet je ukončen. Pokud nejsou žádné dvě složky analyzovaného náhodného vektoru podmíněně závislé, jsou z modelu vyjmuty postupně všechny hrany a výsledkem je prázdný graf (Whittaker, 1990: s. 241–246).

6.4 Příklad výpočtu grafického modelu

Jako příklad výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí uvedeme výpočet modelu pro celkové denní počty zemřelých mužů na nemoci oběhového systému ve věku 40 a více dokončených let včetně a řady hodnot geofyzikálních parametrů během sluneční bouře *Bastille Day event* 14. 7. 2000. K výpočtu byla použita procedura Backward²⁰ v programovacím prostředí Mathematica 8 a byla upravena pro výpočet grafického modelu podmíněných nezávislostí se smíšenými proměnnými. Vypočteny byly podmíněné závislosti řady denních počtů zemřelých mužů na nemoci oběhového systému ve věku 40+ (I00–I99) a indexů sluneční a geomagnetické aktivity: geomagnetický index Kp , sluneční radiový tok $F10,7$ a $PF30$ slunečního protonového toku > 30 MeV.

Náhodný vektor byl tedy $X = (I; Kp; F10,7; PF30)$.

Počet vrcholů grafu je proto v tomto případě 4.

Počet všech možných grafů N pro $n=4$ vrcholů vypočteme podle vzorce $N = 2^{n(n-1)/2} = 2^6 = 64$. Počet všech grafů bez výchozího úplného grafu je zde tedy 63. Kritická hodnota χ^2 rozdělení ve výpočtu byla 3,84 (podmínka difference deviancí ($dev(G_2) - dev(G_1)$) $< 3,84$). Hrany tedy byly vyjímány z modelu na hladině významnosti 0,05. Počet realizací, tj. délka logaritmické řady, je 31, což je počet pozorování náhodného vektoru neboli počet dní ve sledovaném období 30 dní před sluneční bouří dne 14. 7. 2000 (pre-SEP) a 30 dní po této sluneční bouří včetně (post-SEP). Spočtená varianční matice, korelační matice a matice sousednosti pro období 30 dní před (pre-SEP) sluneční bouří dne 14. 7. 2000 včetně jsou uvedeny v následujícím protokolu:

Zvolene rady:

```
1 I00-I99
2 F107
3 KP
4 PF30
```

Pocet realizaci = delka log rady = 31

pocet vrcholu = 4

variancni matice=
$$\begin{pmatrix} 0.485909 & 0.439013 & 0.00044441 & -0.275607 \\ 0.439013 & 2.97737 & 0.00762612 & 0.211417 \\ 0.00044441 & 0.00762612 & 0.933573 & 0.257389 \\ -0.275607 & 0.211417 & 0.257389 & 222.106 \end{pmatrix}$$

korel matice=
$$\begin{pmatrix} 1. & 0.364993 & 0.00065983 & -0.0265298 \\ 0.364993 & 1. & 0.00457418 & 0.00822137 \\ 0.00065983 & 0.00457418 & 1. & 0.0178745 \\ -0.0265298 & 0.00822137 & 0.0178745 & 1. \end{pmatrix}$$

matice sousednosti =
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & -4 & -3 & 0 \end{pmatrix}$$

Pocet vynechaných hran = 4

Celkova deviance = 4.66419

p-value = 0.32352

²⁰ Procedura Backward v programovacím prostředí Mathematica 8 (Chýna, 2002).

Varianční matice pro náhodný vektor $X = (I; Kp; F10,7; PF30)$ je složena z kovariancí mezi jeho složkami s rozptýly složek na diagonále. Korelační matice pro uvedený náhodný vektor má na hlavní diagonále 1, mimo hlavní diagonálu korelační koeficienty mezi složkami náhodného vektoru. Pořadí řádků a sloupců matic odpovídá číslům složek náhodného vektoru v protokolu. Výpočtem byla sestavena matice sousednosti grafu. Znaménko '–' v matici sousednosti značí vynechanou hranu. Číslo u znaménka indikuje, ve kterém kroku výpočtu byla hrana vynechána. Počet prvků matice sousednosti se záporným znaménkem odpovídá počtu vynechaných hran. Výpočtem jsou v tomto případě vynechány 4 hrany mezi vrcholy. Celková deviance minimalizovaného grafu je 4,66419, p-hodnota testu je 0,32352. Nezamítáme tedy shodu modelu s daty.

Spočtená varianční matice, korelační matice a matice sousednosti pro období 30 dní po sluneční bouři ze dne 14. 7. 2000 včetně (post-SEP) jsou uvedeny zde:

Zvolene rady:

```
1 I00-I99
2 F107
3 KP
4 PF30
```

Pocet realizaci = delka log rady = 31

pocet vrcholu = 4

variancni matice=

$$\begin{pmatrix} 0.485909 & 0.439013 & 0.00044441 & -0.00211457 \\ 0.439013 & 2.97737 & 0.00762612 & 0.0123183 \\ 0.00044441 & 0.00762612 & 0.933573 & 0.0101346 \\ -0.00211457 & 0.0123183 & 0.0101346 & 0.0929971 \end{pmatrix}$$

korel matice=

$$\begin{pmatrix} 1. & 0.364993 & 0.00065983 & -0.00994742 \\ 0.364993 & 1. & 0.00457418 & 0.0234098 \\ 0.00065983 & 0.00457418 & 1. & 0.0343952 \\ -0.00994742 & 0.0234098 & 0.0343952 & 1. \end{pmatrix}$$

matice sousednosti =

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 0 & 0 \\ 1 & -3 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Pocet vynechanych hran = 3

Celkova deviance = 6.29273

p-value = 0.178327

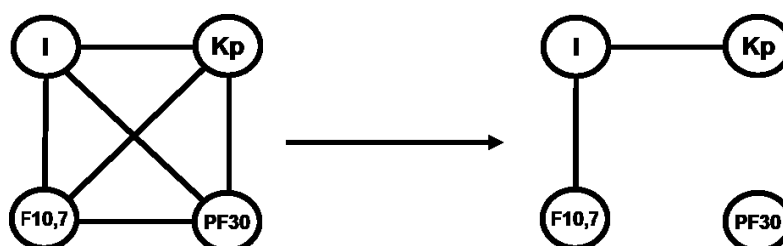
Náhodný vektor byl zde také $X = (I; Kp; F10,7; PF30)$. Graf má 4 vrcholy. Počet možných grafů je 63. Celková deviance minimalizovaného grafu je 6,29273, p-hodnota testu je 0,178327. Nezamítáme tedy shodu modelu s daty.

Z grafu na obrázku 25 (část a) je patrná pro období před sluneční bouří podmíněná závislost ve dvojicích náhodných vektorů reprezentujících časové řady 1(I00–I99)–3(Kp) a 1(I00–I99)–2(F10,7). Časová řada denních počtů zemřelých mužů nad 40 let na nemoci oběhového systému (I00–I99) je tedy v tomto období podmíněně závislá na geomagnetickém indexu Kp a slunečním radiovém toku (F10,7). Na levé straně obrázku 25 je vykreslen kompletní výchozí graf modelu, a na pravé straně obrázku výsledný minimalizovaný graf modelu.

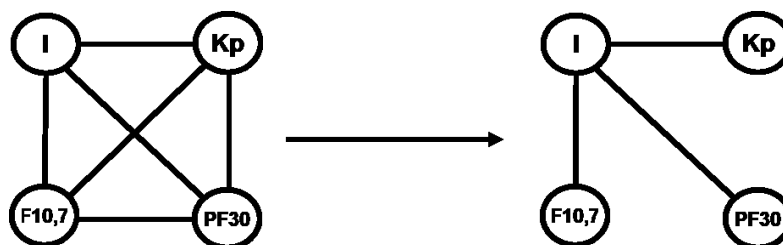
Pro období po sluneční bouři (obrázek 25, část *b*) je viditelná podmíněná závislost ve dvojicích náhodných vektorů reprezentujících časové řady $1(I00-I99)-4(PF30)$, $1(I00-I99)-2(F10,7)$ a $1(I00-I99)-3(Kp)$. Časová řada denních počtů zemřelých mužů nad 40 let na nemoci oběhového systému ($I00-I99$) je tedy v tomto období podmíněně závislá na geomagnetickém indexu Kp , slunečním radiovém toku ($F10,7$) a slunečním protonovém toku $PF30$. Ve vypočtených grafických modelech nejsou nepodmíněně nezávislé složky ani podvektory vektorů řad geofyzikálních parametrů.

Obrázek 25 – Příklad kompletního a minimalizovaného grafu 30 dní před a po sluneční bouři Bastille Day Event, 14. 7. 2000

- a) Úplný a minimalizovaný graf pre-SEP, denní počty zemřelých mužů na nemoci oběhového systému ve věku 40+



- b) Úplný a minimalizovaný graf post-SEP, denní počty zemřelých mužů na nemoci oběhového systému ve věku 40+



Zdroj: Vlastní výpočet.

Lze tedy konstatovat změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých mužů nad 40 let na nemoci oběhového systému na časových řadách slunečního radiového toku $F10,7$, geomagnetického indexu Kp a slunečního protonového toku $PF30$ mezi sledovanými obdobími před a po sluneční bouři dne 14. 7. 2000. V období po sluneční bouři (post-SEP) byla nelezena provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi třemi řadami indexů v modelu. To svědčí o komplexním působení těchto složek sluneční a geomagnetické aktivity.

6.5 Silné sluneční bouře v moderním období

Výrazné sluneční bouře nejsou časově striktně korelovány s obdobími slunečních maxim. V době okolo maxim sluneční aktivity je však četnost nadprůměrně silných bouří vyšší než v jiných fázích slunečního cyklu. Dále popíšeme několik velmi silných slunečních bouří, které přímo ovlivnily pozemské prostředí a proběhly v době, kdy již byly k dispozici fyzikální měřicí metody a koncipovány teorie mechanismu jejich vzniku²¹.

K dosud nejsilnější instrumentálně pozorované magnetické sluneční bouři došlo 2. září 1859. Podle svého pozorovatele je nazývána *Carringtonovo vzplanutí* (Carrington, 1859). Šlo o výron rentgenového záření ze Slunce odhadované třídy X40, tedy velmi silnou sluneční bouři. Index *Dst* se z rychlosti šíření rázové vlny ze Slunce při této magnetické bouři odhaduje na -1760 nT²². Tuto magnetickou bouři sledovaly první magnetometry v Londýně a v Indii. Změny magnetického pole byly patrné již od 28. srpna. Dne 1. září 1859 Carrington a nezávisle na něm i Richard Hodgson pozorovali vzplanutí jako bílou jasnou skvrnu na slunečním disku. Po 17 hodinách a 40 minutách od tohoto pozorování začala velmi intenzivní magnetická bouře, kterou dal Carrington do souvislosti s pozorovaným vzplanutím na slunečním disku (Carrington, 1859). Jeho teorie ale tehdy nebyla všeobecně přijata. Tato bouře vyřadila z provozu většinu telegrafních linek v Evropě a Severní Americe. Ve vyšších severních šířkách bylo pozorováno jiskření na hranách vodivých předmětů. V roce 1992 byly v grónských ledových krách nalezeny stopy radionuklidů z této sluneční bouře (Tsuji et al., 2012).

Další velmi silná geomagnetická bouře nastala 24. září 1909. Polární záře byly v jejím průběhu pozorovatelné i v rovníkových oblastech a opět došlo k výpadkům telegrafní sítě nejen na severní polokouli, ale i v Austrálii. Byl popsán případ, kdy telefonní operátorka ve Švédsku byla zasažena elektrickým výbojem indukovaným během bouře v telegrafním vedení (Newton, 1943). Lékaři v období od nástupu bouře zaznamenali zhoršení stavu u pacientů s nervovými a srdečními chorobami. Hodnota indexu *Dst* při této bouři se odhaduje na -1500 nT. Spojitost této geomagnetické bouře se slunečním vzplanutím už byla po zveřejnění analýz Edwarda Maundera (1904) všeobecně přijímanou teorií (Eddy, 1976).

K velkému výpadku rozvodných sítí došlo 13. března 1989 jako důsledku rentgenového vzplanutí třídy X15 na Slunci. Index *Dst* tak měl v době bouře hodnotu -589 nT. Indukcí napětí vyhořel vysokonapěťový transformátor hydroelektrárny v kanadské provincii Québec. Centrální kanadská síť se následně zhroutila během necelé minuty. Lokální výpadky nastaly i v Pensylvánii, New Yorku, Kalifornii a Švédsku. Šest milionů lidí bylo bez dodávky elektrické energie devět i více hodin (Kappenman, 1997). Díky indukovaným proudům se také přehřál jeden ze tří generátorů švédské jaderné elektrárny Oskarshamn.

²¹ informace k výrazným slunečním bouřím v této kapitole jsou čerpány z materiálů Výzkumné skupiny pro kosmické počasí a ionosféru Univerzity v Oulu. <http://www oulu.fi/physics/space-physics/space-weather-and-space-climate>.

²² Hodnota -50 až -150 nT se vyskytuje průměrně jednou měsíčně, -150 až -300 nT několikrát za rok a *Dst* nižší než -500 nT jen několikrát za sluneční cyklus. Šlo tedy sluneční bouři výjimečnou i za několik slunečních cyklů.

Tato sluneční bouře vyřadila na týden z provozu čtyři navigační družice námořnictva Spojených států. Změny magnetického pole indukují elektrické proudy ve všech vodivých předmětech, tedy i v ropovodech a plynovodech a způsobují jejich mimořádně silnou korozi. Navíc všechna měřicí zařízení mohou při bouřích selhávat. Byl prokázán i vliv slunečních bouří na degradaci elektronických součástek a fungování přístrojů. Sluneční bouře tedy mohou ohrožovat i jiné zdroje energie než elektrické (Kappenman, 1997).

Mnohem silnější sluneční bouře z 16. srpna 1989 způsobená rentgenovým vzplanutím třídy X20 naopak nezpůsobila na Zemi žádné velké škody (Tsuji et al., 2012). Uvolněný plazmoid nemířil směrem k Zemi, takže pouze způsobil posunutí hranice pozorovatelnosti polárních září do středních šířek.

V 21. století již došlo také k několika dalším slunečním událostem. Známa je sluneční erupce z 30. října 2003 nazývaná *Halloween Solar Storms*. Tato erupce, ke které došlo na sestupné větvi 23. slunečního cyklu, byla třídy X17.2. V jejím průběhu vystoupal Kp index několikrát na hodnotu 9 a index Dst index klesl na hodnotu -342 nT. Došlo k výpadkům dodávky elektrické energie ve švédském Malmö, k radiovým blackoutům a výpadkům vysílání telekomunikačních družic (Tsurutani et al., 2005). Průběh slunečních cyklů číslo 23–24 ve sledovaném období vidíme na obrázku 7. Je zde zřetelné i extrémně nízké minimum sluneční aktivity mezi slunečními cykly 23 a 24 v letech 2008–2009 a nezvykle nízké maximum cyklu číslo 24. V současné době končící sluneční cyklus č. 24 dosáhl maxima na přelomu let 2013 a 2014 ($R=116,4$). Další minimum sluneční aktivity se očekává v letech 2021–2022. Sluneční cyklus č. 24 byl nejslabší od doby slunečního cyklu č. 14, který vrcholil v roce 1906 ($R=107,2$) (NOAA, 2014).

Ve 24. slunečním cyklu došlo k první klasifikované sluneční erupci třídy X1.3 dne 25. dubna 2014 (NOAA, 2014). Byly zaznamenány větší komunikační výpadky na denní straně Země. Orbitální observatoř NASA SDO naměřila extrémní záblesk ultrafialového záření z této exploze. Základní informace o rizikových slunečních událostech v posledních čtyřiceti letech lze najít i na stránce Belgické královské observatoře²³.

Důsledky těchto nedávných slunečních bouří stály na počátku systematického sledování kosmického počasí. Ukázaly, že v moderní době závislé na dálkovém přenosu energií a síťových propojeních mohou mít sluneční bouře, i mnohem slabší než Carringtonova z roku 1859, nedozírné následky. Bylo ustaveno několik celosvětových výstražných systémů určených pro včasné varování před rizikovými slunečními událostmi. Jako první vznikl *Space Weather Prediction Center* amerického Národního úřadu pro oceán a atmosféru. Varování a predikce rizikových událostí jsou každý den zveřejňována na jeho stránkách²⁴.

Průběh typické ionosférické odezvy na sluneční bouři, která zasáhla Zemi je na obrázku 26. Na horním panelu je viditelný tzv. *denní chod*, tedy odezva na střídání dne a noci. V dolní části obrázku je vyznačena odezva na sluneční bouři, která zasáhla Zemi mezi 14. a 16. hodinou sledovaného dne (Jursa et al., 1985).

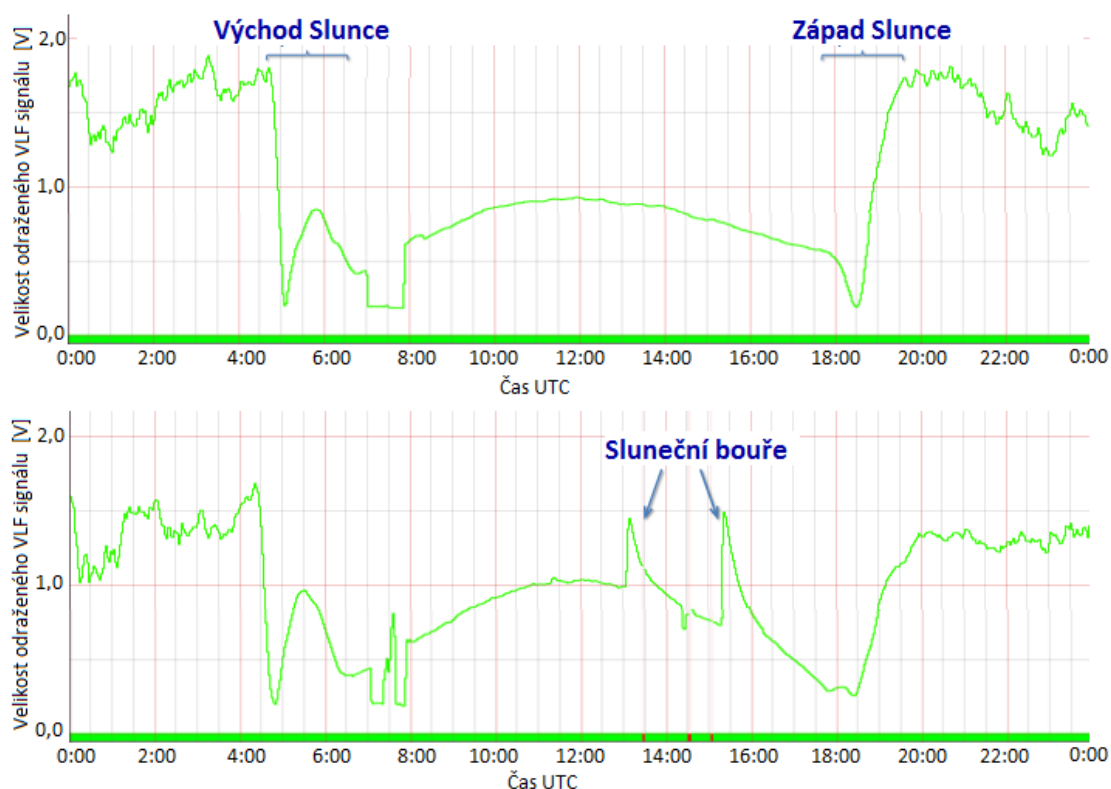
V Evropě varování před slunečními bouřemi s dopadem na Zemi vydává konsorcium evropských slunečních observatoří COMESEP (COronal Mass Ejections and Solar Energetic

²³ http://dev.sepem.oma.be/help/event_ref.html

²⁴ <http://www.swpc.noaa.gov/forecasts>

Particles)²⁵. Zcela novým evropským projektem je spuštění aplikačního serveru ESA a několika evropských univerzit SEPEM (Solar Energetic Particle Environment Modelling), na kterém je zveřejňován stochastický predikční model interakce vysokoenergetických slunečních částic s geosférou. Extrémní sluneční události samozřejmě není možné odvrátit, ale včasnými opatřeními lze minimalizovat rozsah jejich dopadu na život lidské populace.

Obrázek 26 – Ionosférická odezva sluneční bouře a průběh v klidovém stavu, VLF měření v D-vrstvě



Poznámka: V grafech je vyobrazen průběh signálu v přijímači v oblasti radiových vln velmi nízkých frekvencí (VLF) sledujícího intenzitu prostorové vlny odražené od ionosféry.

Zdroj: Upraveno podle NWRA/CoRA, NorthWest Research Associates, Boulder, USA.

6.6 Analýza změn denních počtů zemřelých během silných slunečních bouří

Cílem této části práce bylo zjistit, zda se změnila statistická charakteristika denních počtů zemřelých na sledované skupiny příčin smrti v období měsíc před oproti období měsíc po silné sluneční bouři. V tomto případě byly použity časové řady denních počtů zemřelých na skupiny diagnóz MKN-10 VI. nemoci nervového systému (G00–G99) a IX. nemoci oběhového systému (I00–I99) za skupinu diagnóz dohromady, z důvodu délky sledovaného období. Podle popisu detailních diagnóz a již provedených studií (Katsavrias et al., 2013; Stoupel et al., 2004) není totiž předpoklad, že by akutní závažná reakce lidského organismu na změny geofyzikálních parametrů

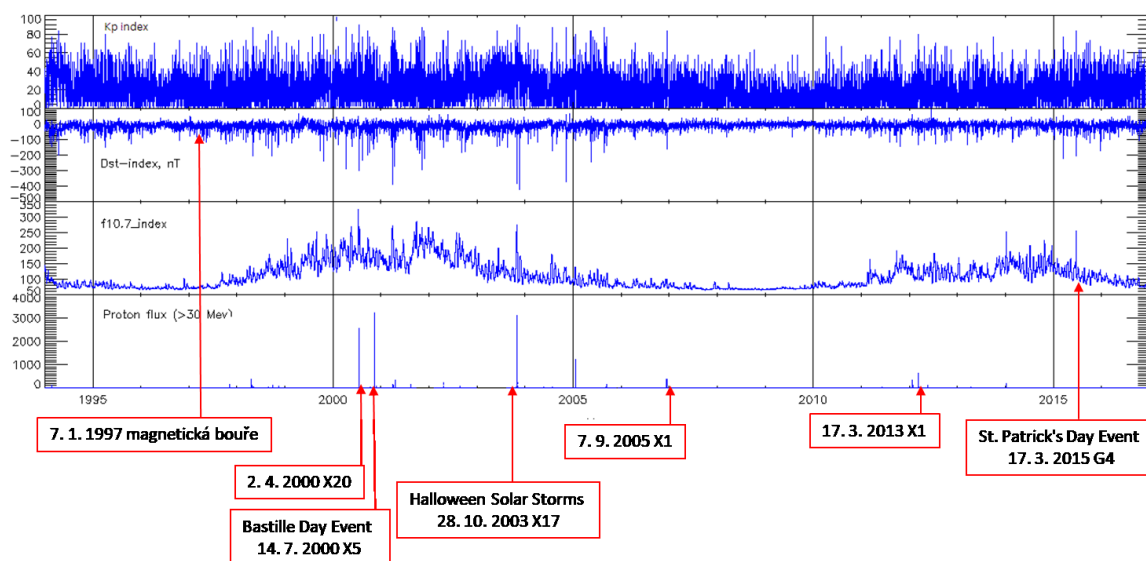
²⁵ <http://www.comesep.eu/alert/>

mohla mít delší prodlevu než 30 dní. Pro srovnání charakteristik bylo zvoleno období s nižší sluneční aktivitou, tj. právě 30 dní před sluneční bouří a dále tři obdobně dlouhá období s velmi nízkou sluneční aktivitou. Tato období pak byla konfrontována s obdobími slunečních bouří a jejich časovému dopadu.

Pro analýzu byla vybrána období následujících výjimečných slunečních bouří v období let 1994–2015^{26,27}:

- geomagnetická bouře a doprovodné bouře dne 7. 1. 1997
- bouře třídy X20 dne 2. 4. 2000
- bouře třídy X5 dne 14. 7. 2000 *Bastille Day Event*.
- bouře třídy X17 dne 28. 10. 2003 *Halloween Solar Storms*,
- bouře třídy X28 dne 4. 11. 2003 nezasáhla Zemi a nebyla pro ni provedena analýza
- bouře třídy X1 dne 7. 9. 2005
- bouře třídy X5 dne 7. 3. 2012 nezasáhla Zemi a nebyla pro ni provedena analýza
- bouře třídy X1 dne 17. 3. 2013
- bouře třídy G4 dne 17. 3. 2015 *St. Patrick's Day Event*.

Obrázek 27 – Výrazné sluneční bouře ve sledovaném období let 1994 – 2015



Zdroj: vlastní ilustrace, upraveno podle OMNIWeb NASA/Goddard Space Flight Center [online].
<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx4.html>.

²⁶ Bouře byly vybrány dle katalogu *NWRA/CoRA, NorthWest Research Associates, Boulder, USA* a *Deutsches GeoForschungsZentrum, Helmholtz-Zentrum, Německo*.

²⁷ Sluneční erupce jsou klasifikovány do tříd A, B, C, M, X a Z podle intenzity toku rentgenového záření z erupce v okolí Země. Například intenzita rentgenového záření 0,1–0,8 nm u sluneční erupce třídy B je nižší než 10^{-6} W/m², třídy C 10^{-6} – 10^{-5} W/m², třídy M 10^{-5} – 10^{-4} W/m² a třídy X více než 10^{-4} W/m². V rámci tříd je zavedena lineární stupnice od 1,0 do 9,99. Magnetické bouře jsou klasifikovány stupnicí G1–G5, podle intenzity stupně narušení geomagnetického pole.

Bouře byly vybrány dle katalogu NWRA/CoRA, NorthWest Research Associates v Boulderu, USA a Deutsches GeoForschungsZentrum v Německu tak, aby se vyskytovaly rovnoměrně v průběhu celého sledovaného období. Klasifikace slunečních bouří je uvedena v kapitole 3 na straně 39. Analyzované sluneční bouře jsou označeny v grafu průběhu slunečních a geofyzikálních parametrů ve sledovaném období na obrázku 27.

Pro sestavení časových řad fyzikálních parametrů byly použity hodinové hodnoty indexu Dst a slunečního protonového toku $PF30$ s energií vyšší než 30 MeV, tříhodinové hodnoty Kp indexu a denní hodnoty slunečního radiového toku $F10,7$. Průběh těchto parametrů je vyneseno na obrázku 27 v panelech nad sebou. U indexu Kp (první panel shora) je viditelné kolísání hodnot a vyšší hodnoty v době geomagnetických bouří. U indexu Dst (druhý panel shora) lze sledovat prudké poklesy hodnot v době geomagnetických bouří. Sluneční radiový tok $F10,7$ (třetí panel shora) kopíruje průběh slunečního cyklu s kladnými výchylkami v době slunečních bouří. Na dolním panelu jsou vykresleny hodnoty slunečního protonového toku $PF30$ s energií vyšší než 30 MeV.

Jako kontrolní soubor byla použita klidová období, tedy období s minimálně 30 dny bez slunečních skvrn v minimech sluneční aktivity. Tato období byla rovněž vyhledána dle katalogu NWRA/CoRA, NorthWest Research Associates v Boulderu, USA a Deutsches GeoForschungs Zentrum v Německu. V těchto obdobích se nevyskytovaly žádné sluneční bouře a geomagnetické pole nebylo narušené. Jedná se o 3 období: 42 dní 13. 9. 1996–24. 10. 1996, 31 dní 21. 7. 2008–20. 8. 2008 a 32 dní 31. 7. 2009–31. 8. 2009.

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé výrazné sluneční bouře ve sledovaném období. Nejprve jsou v podkapitolách postupně popsány a uvedeny výsledky pro čtyři nejsilnější bouře (2. 4. 2000, 14. 7. 2000, 28. 10. 2003 a 17. 3. 2015) a následně tři slabší bouře (7. 1. 1997, 7. 9. 2005 a 17. 3. 2013) ve sledovaném období. Na obrázcích 28, 33, 38, 43, 48, 53 a 58 vidíme změny (shora dolů) hodnot tříhodinového Kp indexu, hodinové hodnoty indexu Dst , denní hodnoty slunečního radiového toku $F10,7$ a hodinových hodnot $PF30$ slunečního protonového toku s energií větší než 30 MeV ve sledovaném období jeden měsíc před a jeden měsíc po konkrétní sluneční bouři. Obrázky 29, 34, 39, 44, 49, 54 a 59 resp. 31, 36, 41, 46, 51, 56 a 61 ilustrují denní počty zemřelých na skupinu příčin smrti IX. nemoci oběhového systému (I00–I99) resp. VI. nemoci nervového systému (G00–G99).

V grafech denních počtů zemřelých je vždy černým sloupcem vyznačen den, kdy došlo ke sluneční bouři, tedy střed sledovaného období. Tečkovaně jsou vyznačeny třídní klouzavé průměry celkového denního počtu zemřelých. Na obrázcích 30, 35, 40, 45, 50, 55 a 60 resp. 32, 37, 42, 47, 52, 57 a 62 jsou pro tyto skupiny příčin smrti vykresleny korelační diagramy pro věkové skupiny do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let, pro muže a ženy zvlášť a hodnoty denních součtů tříhodinového indexu Kp . Výsledek pro ženy do 39 dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Ženy 0-39* a výsledek pro ženy ve věku 40 a více dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Ženy 40+*. Výsledek pro muže do 39 dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Muži 0-39* a výsledek pro muže ve věku 40 a více dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Muži 40+*.

Horní panel (preSEP) zobrazuje korelační přímky pro příslušnou skupinu diagnóz členěnou podle pohlaví a věkové skupiny s vyznačenými 95% intervaly spolehlivosti a predikčními limity, pro období 30 dní před sluneční bouří. Dolní panel (postSEP) zobrazuje korelační diagramy pro období 30 dní od začátku sledované sluneční bouře. Korelační diagramy byly vypočteny i pro ostatní uvedené geofyzikální parametry (Dst , $F10,7$ a $PF30$ protonový tok >30 MeV) a jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce v pořadí podle jednotlivých analyzovaných slunečních bouří.

U věkových skupin, ve kterých jsou vzhledem k charakteru onemocnění nižší počty zemřelých, nejsou výsledky výpočtu modelů statisticky signifikantní. Jde o věkové skupiny 0-39 let pro muže i ženy u nemocí oběhového systému i nervové soustavy. Pro srovnávací klidová období sluneční aktivity jsou stejné výstupy uvedeny v podkapitole 6.7. Vlastní analýza pro sledovaná období před i po slunečních bouřích a klidových období sluneční aktivity byla provedena pomocí grafických modelů podmíněných nezávislostí popsaných v podkapitole 6. Vzhledem k různým rozlišením časového vektoru a typům proměnných v časových řadách byly k analýze použity tzv. *smíšené grafické modely podmíněných nezávislostí*.

Do modelu byly zahrnuty denní počty zemřelých na příčiny smrti ze skupin IX. nemoci oběhového systému (I00–I99) resp. VI. nemoci nervového systému (G00–G99) ve skupinách podle pohlaví a věku a řady geofyzikálních parametrů vyjadřujících úroveň sluneční aktivity (sluneční radiový tok $F10,7$, geomagnetický index Kp a sluneční protonový tok >30 MeV $PF30$) mezi sledovanými obdobími 30 dní před a po výše uvedených slunečních bouřích (magnetická bouře 7. 1. 1997, bouře třídy X20 2. 4. 2000, bouře třídy X5 14. 7. 2000 *Bastille Day Event*, bouře třídy X17 28. 10. 2003 *Halloween Solar Storms*, bouře třídy X1 7. 9. 2005, bouře třídy X1 17. 3. 2013 a bouře třídy G4 17. 3. 2015 *St. Patrick's Day Event*), které vyhovovaly kritériím četnosti pozorování pro analýzu časové řady metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí. Pomocí IPF algoritmu byly vypočteny grafické modely podmíněných nezávislostí reprezentující vstupní data denních hodnot slunečních indexů a zemřelých podle vybraných příčin smrti za období let.

Tyto časové řady byly testovány na normalitu a nezávislost logaritmických dat. Tímto testem byly vyloučeny z dalšího výpočtu řady zemřelých mužů i žen ve věkové skupině 0-39 dokončených let včetně. Grafické modely nemohly být pro tyto skupiny vypočteny z důvodu neurčitosti variančních matic. Testům na normalitu a nezávislost logaritmických dat vyhověly tedy pouze řady počtů zemřelých mužů i žen ve věkové skupině nad 40 dokončených let včetně pro všechny uvedené sluneční bouře a tři období s nízkou úrovní sluneční aktivity. Všechny grafy ve výpočtech mají 4 vrcholy, maximální počet možných grafů v každém výpočtu je tedy 63.

Jak bylo uvedeno v metodické části této kapitoly disertační práce, pro identifikaci podmíněné závislosti denních řad zemřelých byla použita procedura Backward v programovacím prostředí Mathematica 8 modifikovaný pro smíšené grafické modely podmíněných nezávislostí. Výpočty byly provedeny pro výše uvedené sluneční bouře, vždy zvlášť pro období před a po sluneční bouři. Z důvodu výpočetní náročnosti nebyl ve smíšených grafických modelech podmíněných nezávislostí použit geomagnetický index Dst . Náhodný vektor použitý v modelech zde je

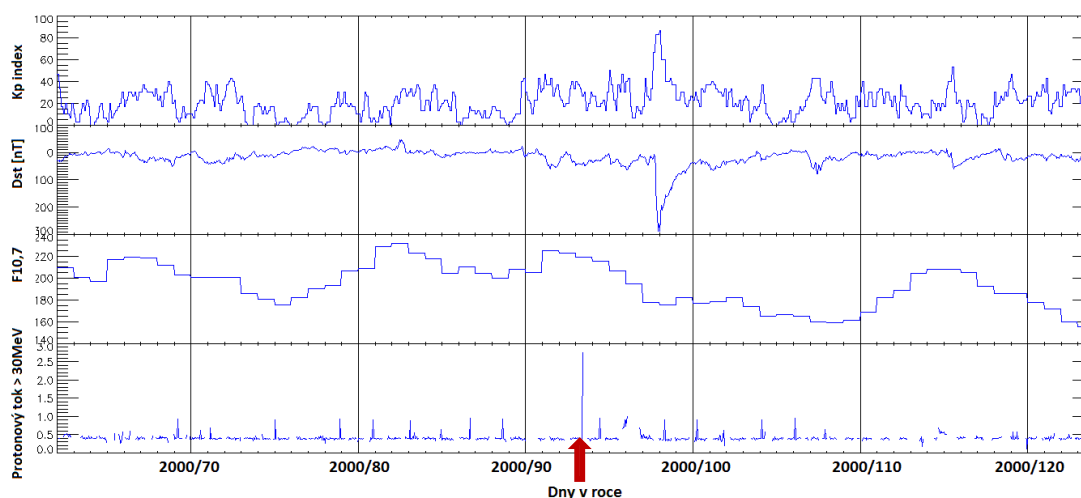
$X = (I; Kp; F10,7; PF30)$, kde I je denní počet zemřelých ve skupině diagnóz podle věku a pohlaví, Kp je geomagnetický index, $F10,7$ sluneční radiový tok a $PF30$ je sluneční protonový tok > 30 MeV. Počet realizací tohoto náhodného vektoru je 31 (délky sledovaných období před a po sluneční bouři). Kritická hodnota χ^2 rozdělení ve výpočtu byla 3,84 (diference deviancí ($dev(G_2) - dev(G_1)$) $< 3,84$). Hrany tedy byly vyjímány z modelu na hladině významnosti 0,05.

Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro obě skupiny diagnóz v době analyzovaných slunečních bouří jsou v tabulkách uvedených v následujících podkapitolách této disertační práce. K výsledkům výpočtu grafického modelu k dané bouři jsou vždy uvedeny parametry minimalizovaných grafických modelů před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP) pro analyzované skupiny podle pohlaví a věku. Pro každý model je v tabulce uvedena celková deviance minimalizovaného modelu. Pro složky náhodného vektoru modelu je označeno, zda daná hrana zůstala ve výsledném minimalizovaném modelu odškrtnutím (hrana je v modelu) nebo křížkem (hrana byla vyňata z modelu). Tímto způsobem jsou označeny hrany ve všech vypočtených grafických modelech podmíněných nezávislostí pro období slunečních bouří i období klidné sluneční aktivity v následujících podkapitolách. Dále je v tabulkách uveden počet hran ve výsledném modelu a p-hodnota testu modelu. Pokud časové řady nevyhověly testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat a z důvodu neurčitosti varianční matice nebylo možné model vypočítat, je tato informace v tabulkách uvedena v příslušném řádku.

6.6.1 Bouře ze dne 2. 4. 2000

Tato silná protonová erupce byla třídy X20 ve středu slunečního disku 2. 4. 2000. Území České republiky bylo této události vystaveno ve dne, zemské magnetické pole bylo narušeno ve dne i v noci (Huba et al., 2005). Průběh hodnot fyzikálních parametrů během této bouře je vykreslen na obrázku 28. Z grafu je viditelné skokové zesílení protonového toku v době sluneční bouře. K magnetické bouři došlo 4 dny po té. Magnetická bouře je identifikovatelná v grafu jako vzestup indexu Kp a prudký pokles indexu Dst na hodnotu -301 nT a následná relaxace. Sluneční radiový tok $F10,7$ ve sledovaném období kolísá mezi hodnotou 160 a 230.

Obrázek 28 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 2.3.2000–02.5.2000



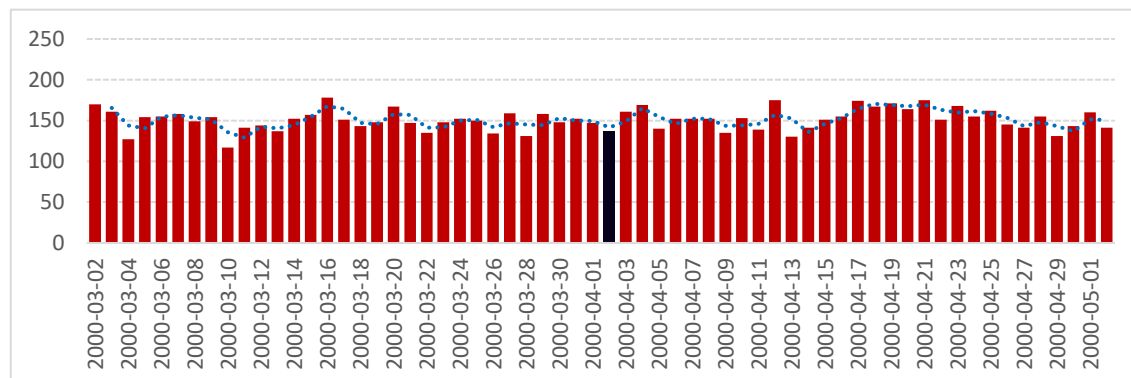
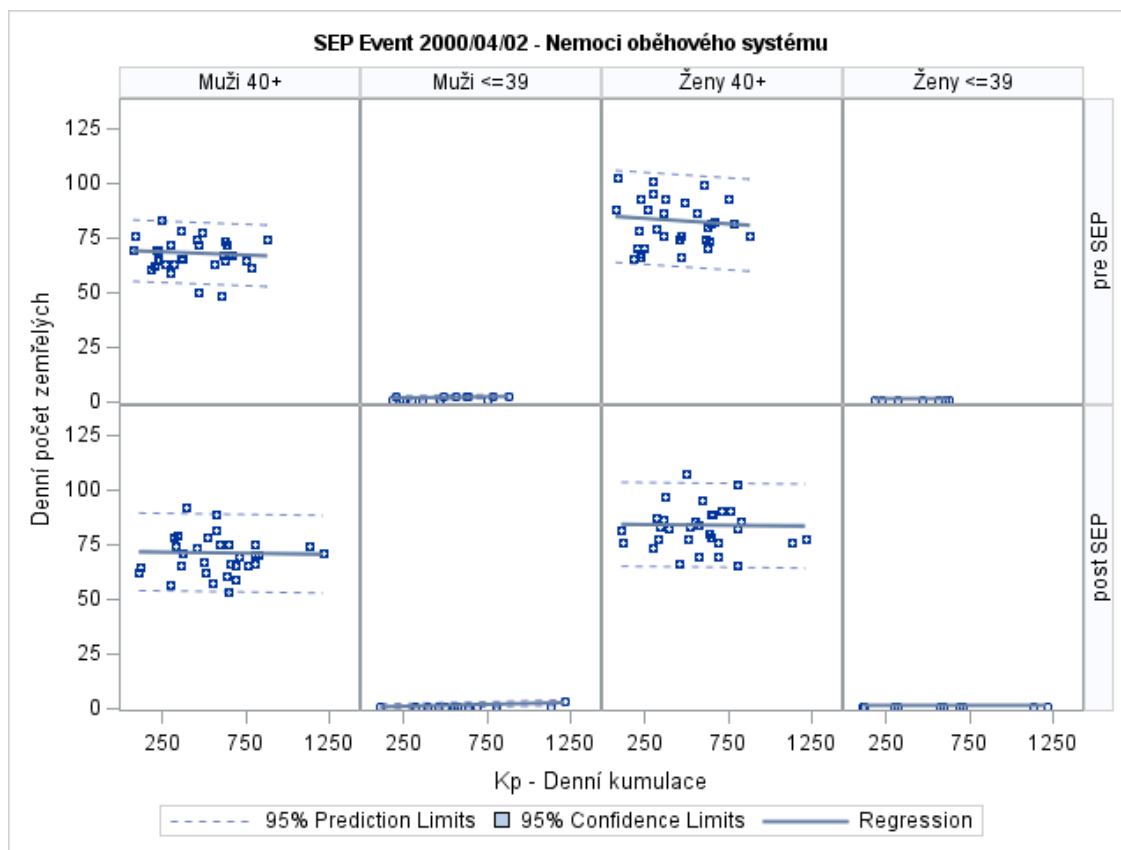
Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 2. 4. 2000.

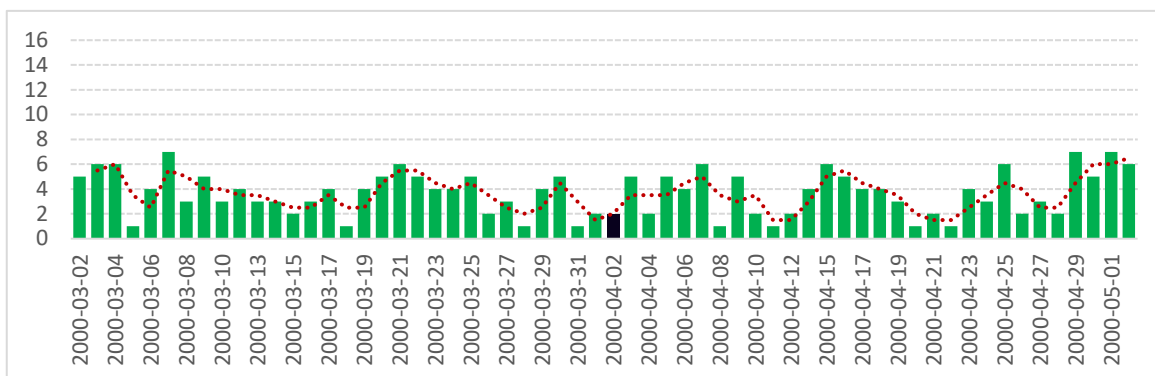
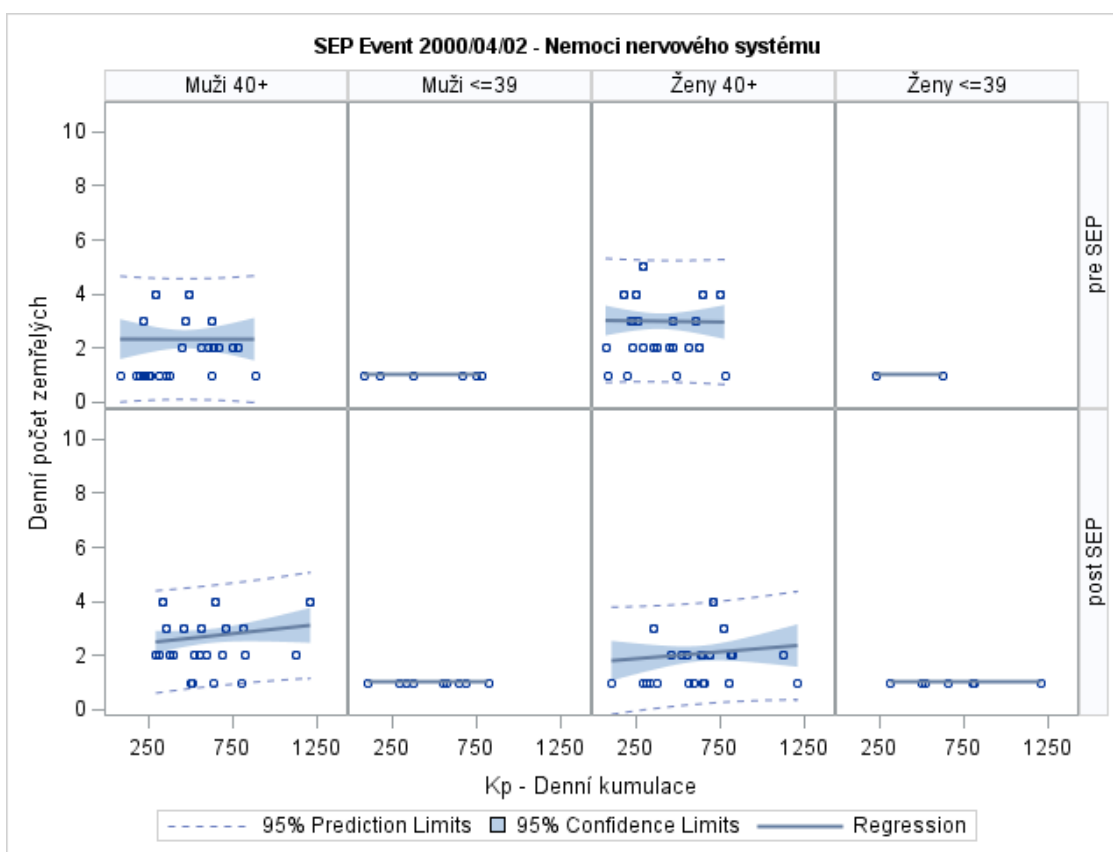
Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Ve sledovaném období kolem této sluneční bouře denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 29) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 31) podle věku a pohlaví mají odlišné charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři. Tyto změny jsou skryty za celkovými denními počty zemřelých a jsou identifikovatelné až ve skupinách podle věku a pohlaví (obrázek 30 a 32).

Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro denní počty zemřelých ve skupině IX. nemoci oběhového systému jsou v tabulce 25. V tabulce jsou uvedeny parametry minimalizovaných grafických modelů před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP) pro analyzované skupiny podle pohlaví a věku. Pro složky náhodného vektoru v minimalizovaném modelu je označeno, zda daná hrana zůstala ve výsledném minimalizovaném modelu odškrtnutím (hrana je v modelu) nebo křížkem (hrana byla vyňata z modelu). Takto jsou značeny i všechny grafické modely v následujících podkapitolách. Testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat pro období před i po sluneční bouři 2. 4. 2000 nevyhověly časové řady denního počtu zemřelých žen ve věkové skupině 0-39 let. U nemocí oběhového systému u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace pouze se slunečním protonovým tokem $PF30$. U žen nad 40 let bylo nalezeno zvýšení korelace pro geomagnetické parametry Kp a Dst . Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 25). Oproti době před sluneční bouří byla v době po sluneční bouři nalezena podmíněná závislost u všech skupin pro sluneční protonový tok $PF30$. Sluneční protonový tok $PF30$ v minimalizovaných modelech pro období po sluneční bouři odpovídá tomu, že k této bouři došlo i ve dne místního času v České republice. Ve věkové skupině žen nad 40 let byla identifikována provázanost denního počtu zemřelých po sluneční bouři současně se všemi složkami náhodného vektoru (všemi slunečními a geomagnetickými indexy v modelu). Působení těchto složek sluneční a geomagnetické aktivity je zde tedy komplexní.

Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro denní počty zemřelých ve skupině VI. nemoci nervové soustavy jsou v tabulce 26. V tabulce jsou uvedeny parametry minimalizovaných grafických modelů před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP) pro analyzované skupiny podle pohlaví a věku. Testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat pro období před i po sluneční bouři 2. 4. 2000 nevyhověly časové řady denního počtu zemřelých žen i mužů ve věkové skupině 0-39 let. V období 30 dní po této sluneční bouři je pro denní počty zemřelých na nemoci nervové soustavy identifikováno zvýšení korelace s indexem Kp jen u mužů nad 40 let. Pro sluneční radiový tok $F10,7$ se korelace naopak snížila pro muže i ženy nad 40 let včetně. U mužů ve stejné věkové skupině došlo k snížení korelace oproti období před bouří i pro index Dst . Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 26). V období před sluneční bouří byla nalezena podmíněná závislost u skupiny mužů i žen nad 40 let se slunečním radiovým tokem $F10,7$. V období po sluneční bouři pouze pro Kp index u mužů nad 40 let. Provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity nebyla u skupiny nemocí nervové soustavy u této bouře nalezena.

Obrázek 29 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 30 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000****Zdroj:** Vlastní výpočet

Obrázek 31 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 2.3.2000–2.5.2000**Zdroj:** Vlastní výpočet**Obrázek 32 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 2.3.2000–2.5.2000****Zdroj:** Vlastní výpočet

Tabulka 25 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 2.3.2000–2.5.2000

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,39173	✓	✗	✗	1	0,42729
	Muži 40+	6,95752	✓	✗	✗	1	0,07649
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	10,40900	✗	✓	✗	1	0,05259
post SEP	Muži 0-39	0,53677	✗	✓	✓	2	0,59183
	Muži 40+	8,92773	✗	✗	✓	1	0,29049
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	9,34790	✓	✓	✓	3	0,09196

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet

Tabulka 26 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervového systému (G00–G99), 2.3.2000–2.5.2000

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	1,07044	✓	✗	✗	1	0,42592
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,08955	✓	✗	✗	1	0,05020
post SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	0,91944	✗	✓	✗	1	0,36229
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	0,90085	✗	✗	✗	0	0,04259

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

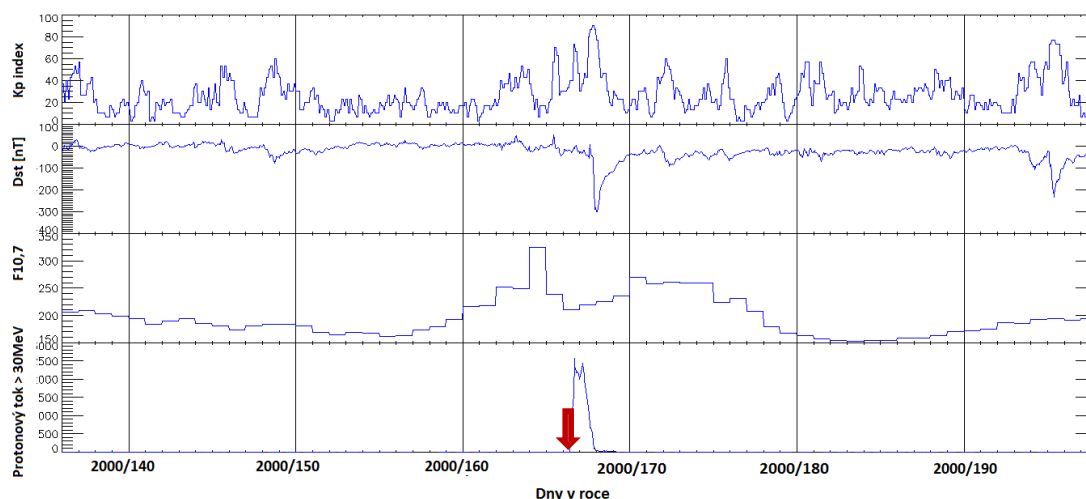
Zdroj: Vlastní výpočet

6.6.2 Bouře „Bastille Day Event“ ze dne 14. 7. 2000

Tato následná erupce 14. 7. 2000 třídy X5 následně způsobila na Zemi radiální bouři třídy S3, když energetické protony bombardovaly ionosféru. Energetické částice zasáhly Zemi 14. 7. 2000 v 10:54 UT, tedy v 11:54 středoevropského času. Území České republiky bylo této události vystaveno ve dne, zemské magnetické pole bylo narušeno ve dne i v noci (Huba et al., 2005).

Fyzikální dopad následné bouře na Zemi byl vzhledem k předcházející bouři 2. 4. 2000 mnohem silnější než by odpovídalo třídě X5 (Tsurutani et al., 2005). Následná geomagnetická bouře vyvrcholila na úrovni G5, v pozdních hodinách 15. července.

Obrázek 33 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 14.6.2000–14.8.2000



Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 14. 7. 2000.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Hodnota geomagnetického indexu Dst poklesla na hodnotu -301 nT. Z grafu na obrázku 33 je viditelné masivní zesílení protonového toku v době sluneční bouře s předcházejícím vzestupem slunečního radiového toku $F10,7$, který ve sledovaném období kolísal mezi hodnotou 150 a 340. K magnetické bouři došlo do 48 hodin po vzestupu hodnot slunečního radiového toku. Magnetická bouře je identifikovatelná v grafu jako vzestup indexu Kp v několika fázích a prudký pokles indexu Dst a následná relaxace. Na konci sledovaného období došlo ještě k vzestupu Kp indexu a poklesu indexu Dst k hodnotě -200 nT.

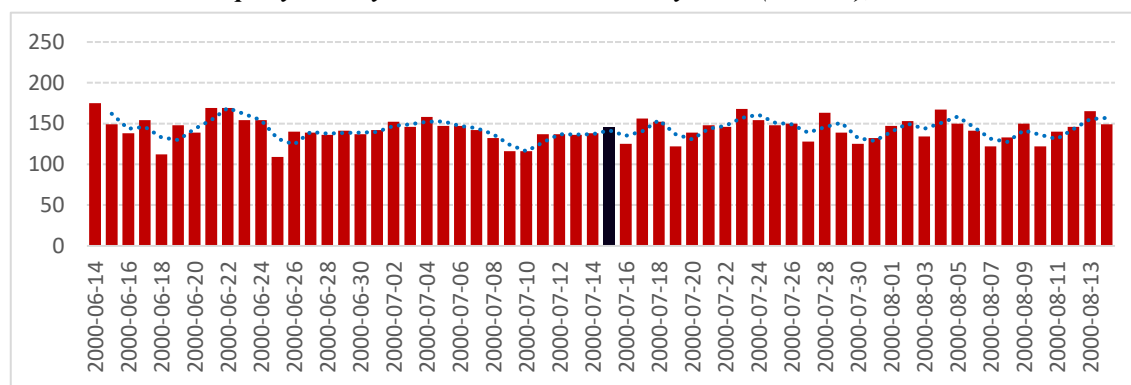
Ve sledovaném období kolem bouře *Bastille Day Event* denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 34) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 36) podle věku a pohlaví měly odlišné charakteristiky v porovnání období 30 dní před sluneční bouří a období 30 dní po sluneční bouři.

U nemocí oběhového systému u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace s indexem Dst . U mužů nad 40 let také pro sluneční protonový tok $PF30$. U žen ve stejné věkové skupině u indexu $F10,7$. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 27). V tabulce je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému se slunečním protonovým tokem $PF30$ jen u mužů nad 40 let. V této skupině diagnóz je v minimalizovaném modelu viditelná provázanost se všemi geofyzikálními indexy v modelu, jsou v něm přítomny všechny hrany, u mužů ve věkové nad 40 let.

To patrně souvisí s denní dobou v České republice, kdy bouře zasáhla Zemi. Ve skupině mužů i žen nad 40 let je v období po sluneční bouři v modelech podmíněná závislost na slunečním radiovém toku $F10,7$, pro ženy ve skupině 0-39 let pak ještě s indexem Kp .

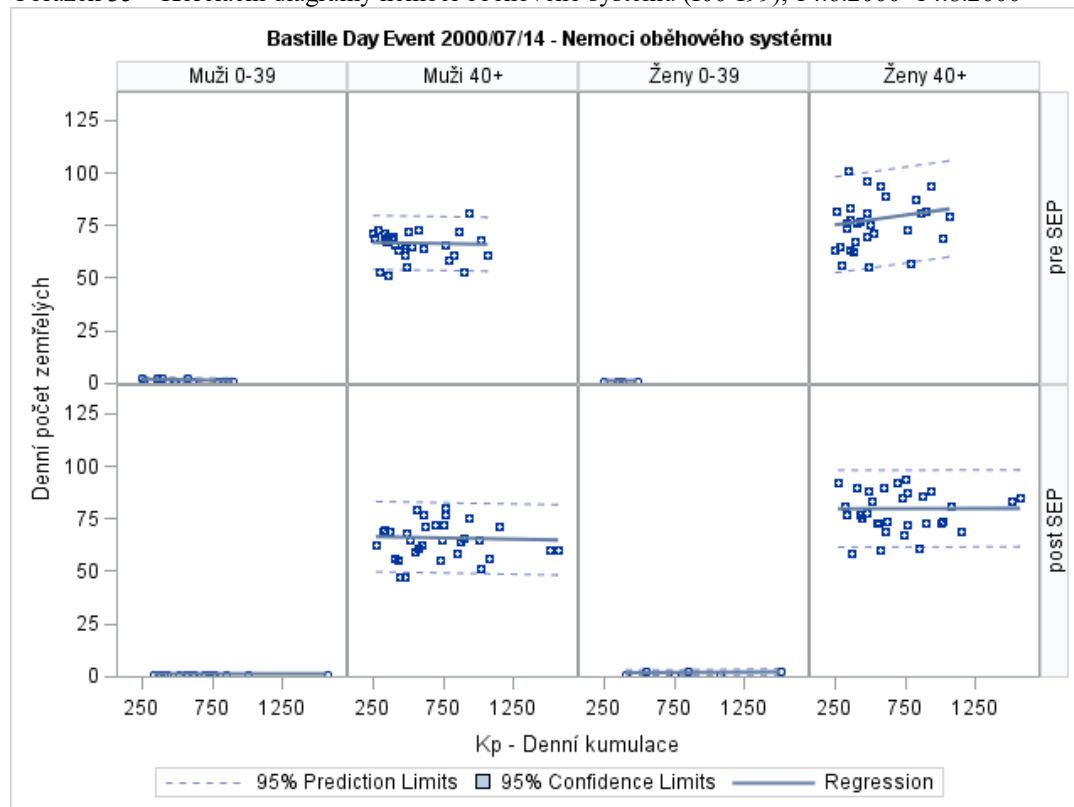
V období 30 dní po této sluneční bouři bylo pro denní počty zemřelých ve skupině VI. nemoci nervové soustavy identifikováno zvýšení korelace jen u mužů nad 40 let včetně pro geomagnetický index Kp . U mužů ve stejné věkové skupině došlo k snížení korelace oproti období před bouří pro index Dst . U žen nad 40 let došlo ke snížení pro index Dst i protonový tok $PF30$. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí (tabulka 28) je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci nervové soustavy se slunečním protonovým tokem $PF30$ před sluneční bouří. Provázanost se všemi geofyzikálními indexy v modelech se nevyskytuje u žádné skupiny. Ve skupině mužů nad 40 let a žen ve skupině 0-39 let je v období po sluneční bouři viditelná podmíněná závislost na indexu Kp .

Obrázek 34 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 14.6.2000–14.8.2000

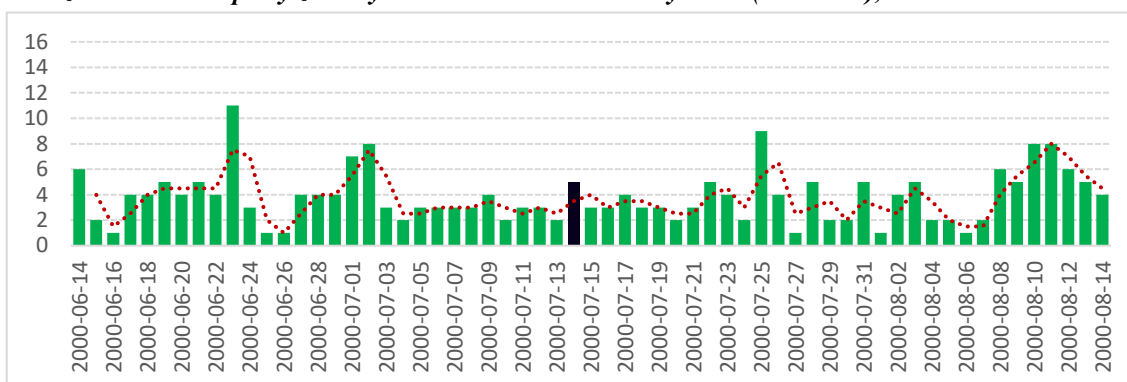
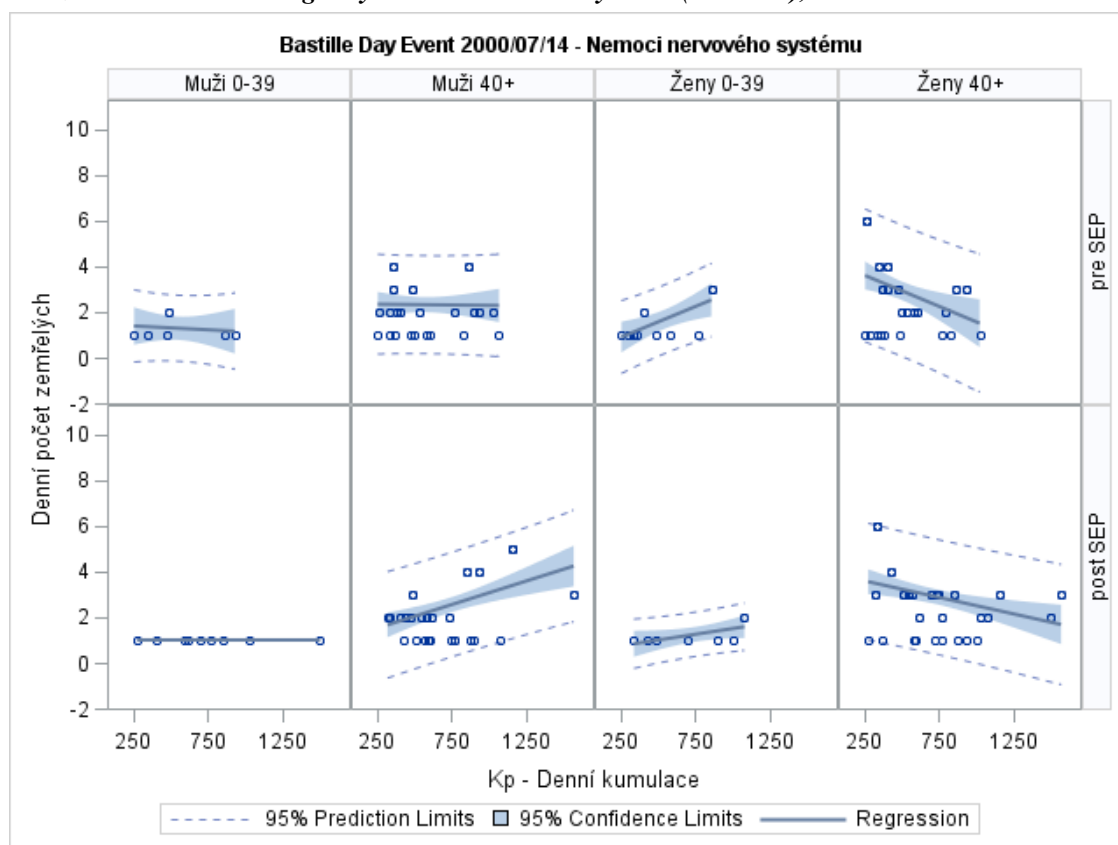


Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 35 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), 14.6.2000–14.8.2000



Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 36 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 37 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000****Zdroj:** Vlastní výpočet

Tabulka 27 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 14.6.2000–14.8.2000

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,45956	✗	✗	✗	0	0,20801
	Muži 40+	4,66419	✓	✓	✗	2	0,32352
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	10,48047	✗	✓	✗	1	0,19218
post SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	6,29273	✓	✓	✓	3	0,17833
	Ženy 0-39	0,32790	✗	✓	✗	1	0,73121
	Ženy 40+	9,00699	✓	✗	✗	1	0,06246

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 28 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 14.6.2000–14.8.2000

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,37939	✗	✗	✓	1	0,59697
	Muži 40+	1,03645	✗	✗	✗	0	0,03595
	Ženy 0-39	0,50603	✗	✓	✓	2	0,71090
	Ženy 40+	1,29253	✗	✗	✓	1	0,29219
post SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	1,12680	✗	✓	✗	1	0,26918
	Ženy 0-39	0,37453	✗	✓	✗	1	0,43892
	Ženy 40+	1,23286	✗	✗	✗	0	0,01914

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

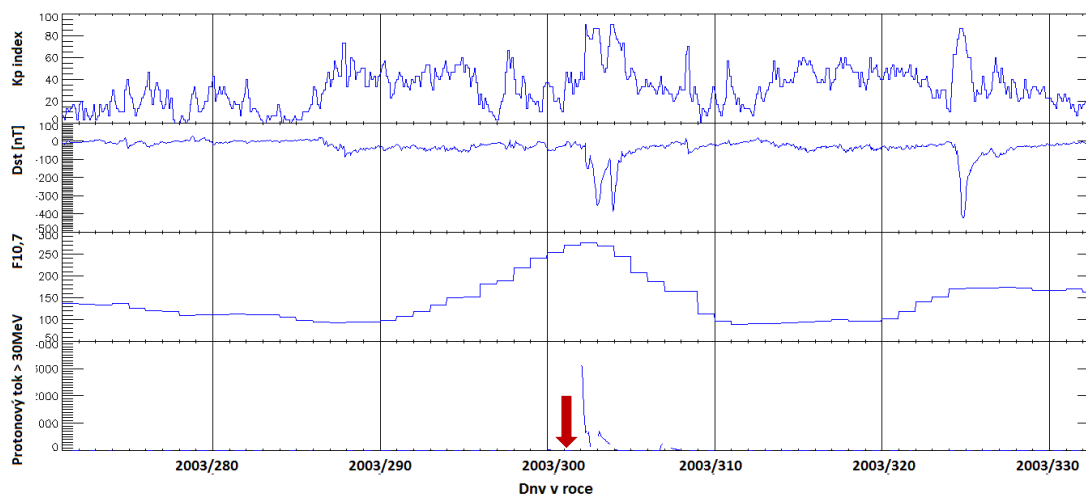
Zdroj: Vlastní výpočet.

6.6.3 Bouře „Halloween Solar Storms“ ze dne 28. 10. 2003

Tato bouře byla zaznamenána jako bouře třídy X45 družicí NASA SOHO v době 28. 10. 2003 v 11:30 UT a 29. 10. 2003 ve 20:54 UT. První disturbance zemského magnetického pole trvala od 29. 10. 2003 06:11 do 30. 10. 2003 16:19 UT. Index Dst poklesl až na hodnotu -383 nT. Druhá disturbance nastala 18. 11. 2003 v 08:50 UT. Index Dst poklesl během této bouře až na -422 nT (Tsurutani et al., 2005). Území České republiky bylo této události vystaveno ve dne i v noci a zemské magnetické pole bylo narušeno ve dne i v noci.

Z grafu na obrázku 38 je viditelné zesílení protonového toku v době sluneční bouře s předcházejícím pozvolným vzestupem slunečního radiového toku $F10,7$, který ve sledovaném období kolísal mezi hodnotou 100 a 270. K magnetické bouři došlo ve dvou velmi silných fázích. Na konci sledovaného období došlo ještě k vzestupu Kp indexu a poklesu indexu Dst až k hodnotě -400 nT.

Obrázek 38 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 28.09.2003–28.11.2003



Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 28. 10. 2003.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Ve sledovaném období kolem sluneční bouře „Halloween Solar Storm“ mají denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 39) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 41) ve skupinách podle věku a pohlaví odlišné charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři zejména u nemoci nervové soustavy. I zde jsou tyto změny skryty za celkovými denními počty zemřelých a jsou identifikovatelné až ve skupinách podle věku a pohlaví. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce.

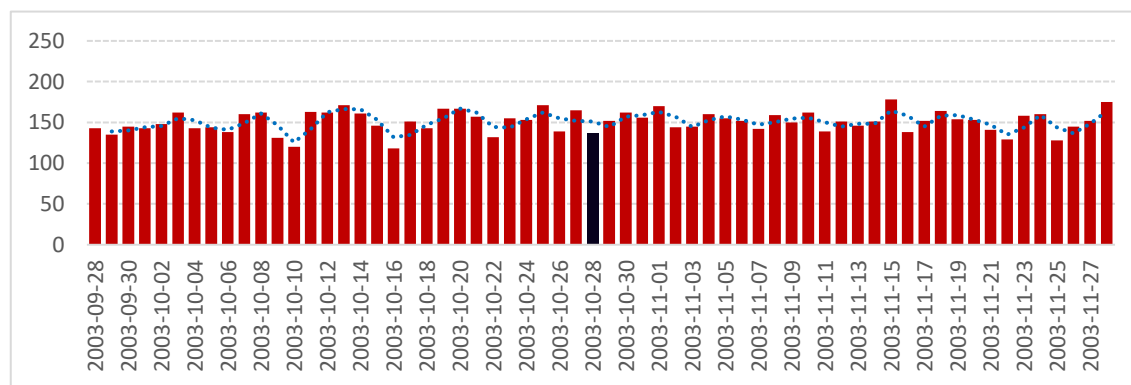
U *nemoci oběhového systému* u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace s geomagnetickým indexem Dst a naopak ke snížení korelace se slunečním radiovým tokem $F10,7$. U mužů i žen sledujeme v celém období vliv slunečního protonového toku $PF30$. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 29). V tabulce 29 je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na sluneční protonový tok $PF30$ ve všech skupinách před i po sluneční bouři. Sluneční protonový tok $PF30$ v minimalizovaných modelech

pro období po sluneční bouři odpovídá tomu, že k této bouři došlo ve dne místního času v České republice. Sluneční radiový tok $F10,7$ je v minimalizovaném modelu pro všechny skupiny kromě mužů nad 40 let. U této skupiny diagnóz je v minimalizovaném modelu viditelná provázanost se všemi geofyzikálními indexy v modelu (jsou v něm přítomny všechny hrany) u skupiny žen nad 40 let.

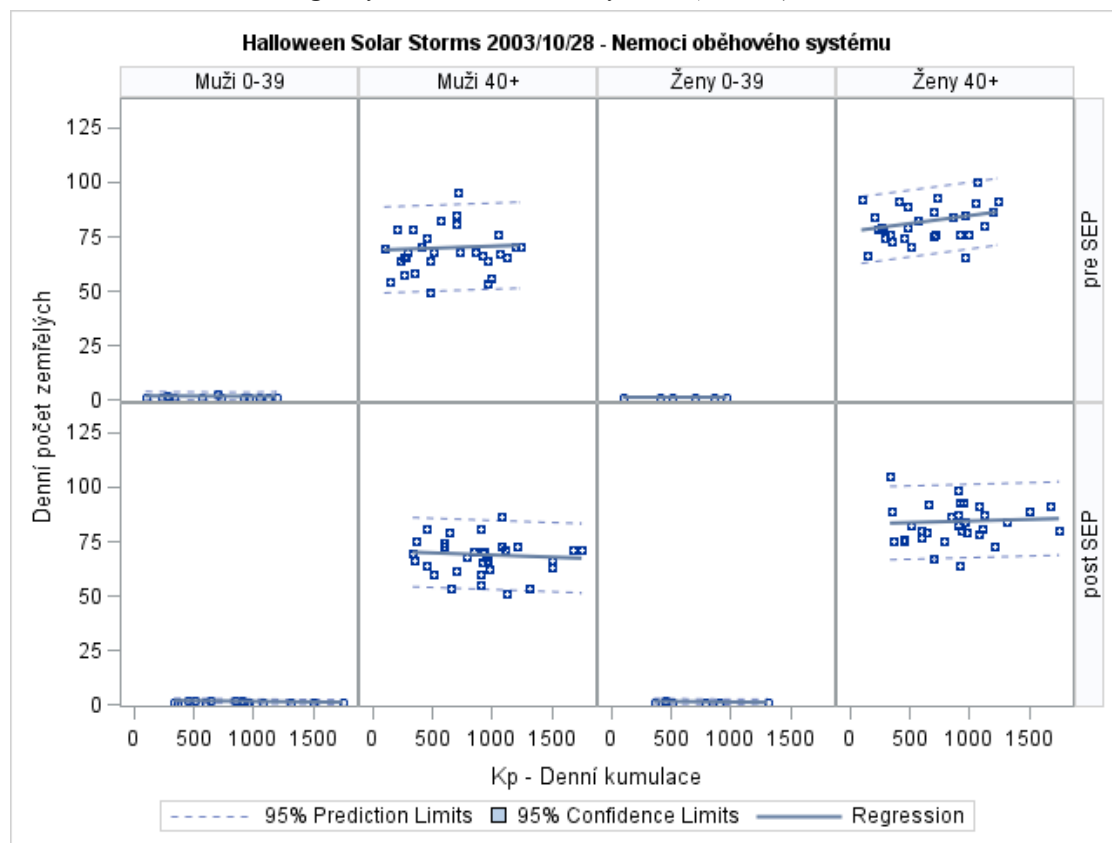
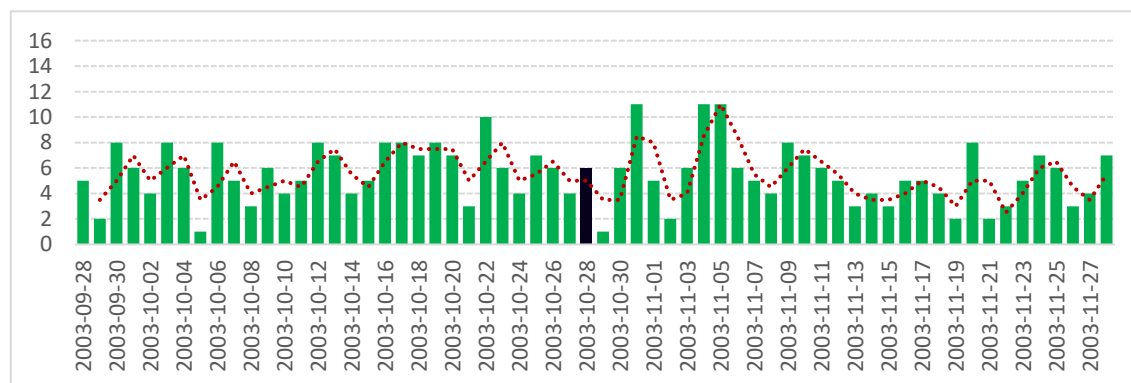
Pro denní počty zemřelých na *nemoci nervové soustavy* v období 30 dní po této sluneční bouři je identifikováno zvýšení korelace u mužů nad 40 let pro indexy Dst , $F10,7$ a sluneční protonový tok $PF30$. U žen nad 40 let sledujeme zvýšení pouze pro sluneční radiový tok $F10,7$. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí (tabulka 30) jsou viditelné změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých na nemoci nervové soustavy na časových řadách fyzikálních parametrů mezi sledovanými obdobími před a po této sluneční bouři. Provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity nebyla u skupiny nemocí nervové soustavy během této sluneční bouře nalezena.

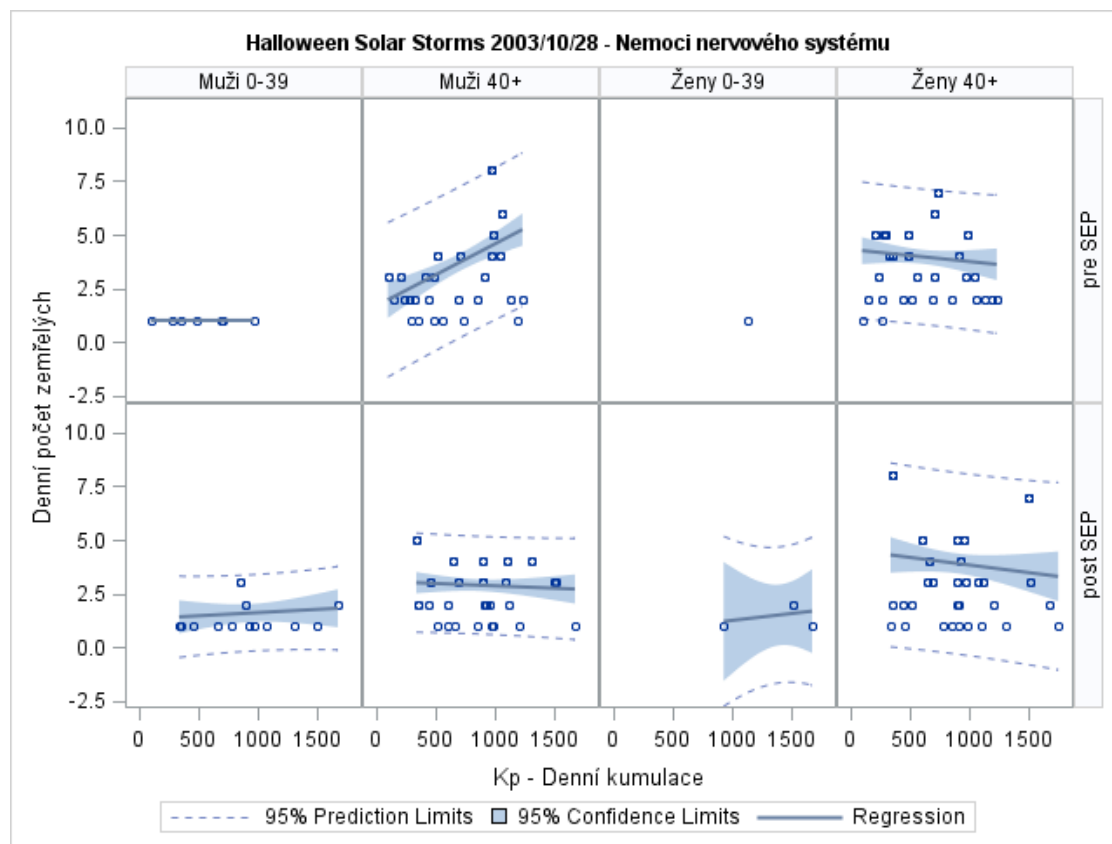
V této skupině diagnóz je v minimalizovaném modelu viditelná provázanost ve všech skupinách podle věku a pohlaví se slunečním radiovým tokem $F10,7$ a slunečním protonovým tokem $PF30$. To může být způsobeno výskytem bouře během dne i noci a výrazným vzestupem slunečního radiového toku.

Obrázek 39 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 28.9.2003–28.11.2003



Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 40 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), 28.9.2003–28.11.2003**Zdroj:** Vlastní výpočet**Obrázek 41 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 28.9.2003–28.11.2003****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Obrázek 42 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), 28.9.2003–28.11.2003**Zdroj:** Vlastní výpočet**Tabulka 29 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 28.9.2003–28.11.2003**

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,79365	✗	✗	✓	1	0,11818
	Muži 40+	9,65696	✓	✗	✓	2	0,10864
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	7,51426	✗	✓	✓	2	0,13221
post SEP	Muži 0-39	0,46596	✓	✗	✓	2	0,28350
	Muži 40+	8,08860	✗	✗	✓	1	0,06981
	Ženy 0-39	0,10372	✓	✗	✓	2	0,96414
	Ženy 40+	8,71907	✓	✓	✓	3	0,09763

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů $F10,7$ (sluneční radiový tok), geomagnetický index Kp a $PF30$ (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu $> 0,05$.

Zdroj: Vlastní výpočet

Tabulka 30 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 28.9.2003–28.11.2003

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	1,69986	✗	✓	✗	1	0,28285
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,44453	✗	✗	✗	0	0,17493
post SEP	Muži 0-39	0,71428	✓	✗	✓	2	0,37100
	Muži 40+	1,10720	✓	✗	✓	2	0,21850
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	2,12049	✓	✗	✓	2	0,21858

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

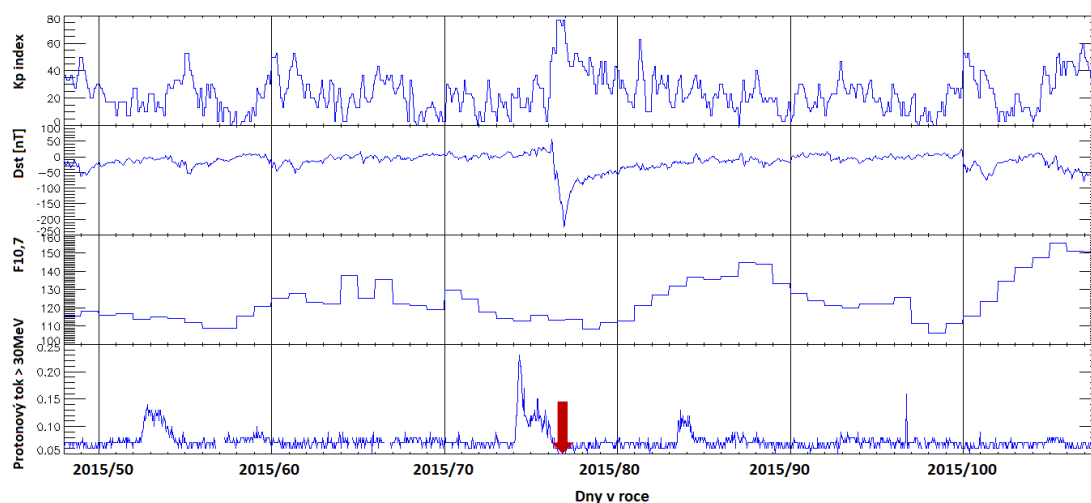
Zdroj: Vlastní výpočet.

6.6.4 Bouře „St. Patrick's Day Event“ ze dne 17. 3. 2015

Tato bouře, zatím nejsilnější geomagnetickou bouří slunečního cyklu č. 24, byla způsobena výronem koronální hmoty (CME) spojeným se sluneční erupcí třídy G4 a následnou řadou radiových bouří typu II/IV. K této události došlo 15. 3. 2015 v 02:36 UT, disturbance zemského magnetického pole nastaly 17. 3. 2015 v 04:45 UT kdy index *Dst* poklesl až na -223 nT (Wu et al., 2016). Území České republiky bylo této události vystaveno v noci a zemské magnetické pole bylo tedy narušeno časně ráno.

Z grafů na obrázku 43 je viditelné zesílení protonového toku na počátku sledovaného období, v době sluneční bouře, a dvě následná epizodická zesílení po sluneční bouři. K magnetické bouři došlo 2 dny po zesílení protonového toku. Magnetická bouře je identifikovatelná v grafu jako vzestup indexu *Kp* a postupný pokles indexu *Dst* a následná poměrně pomalá relaxace. Sluneční radiový tok *F10,7* ve sledovaném období kolísal mezi hodnotou 110 a 150.

Ve sledovaném období sluneční bouře nazývané *St. Patrick's Day Event* denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 44) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 46) podle věku a pohlaví měly výrazně odlišné charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři.

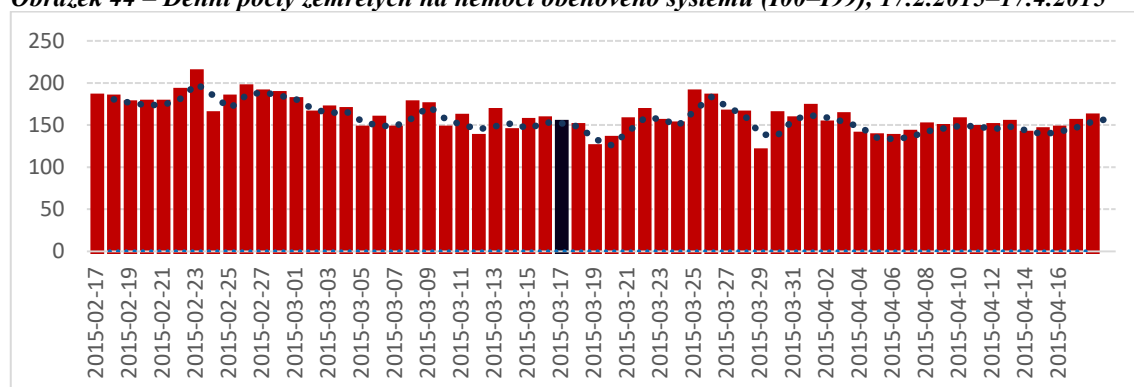
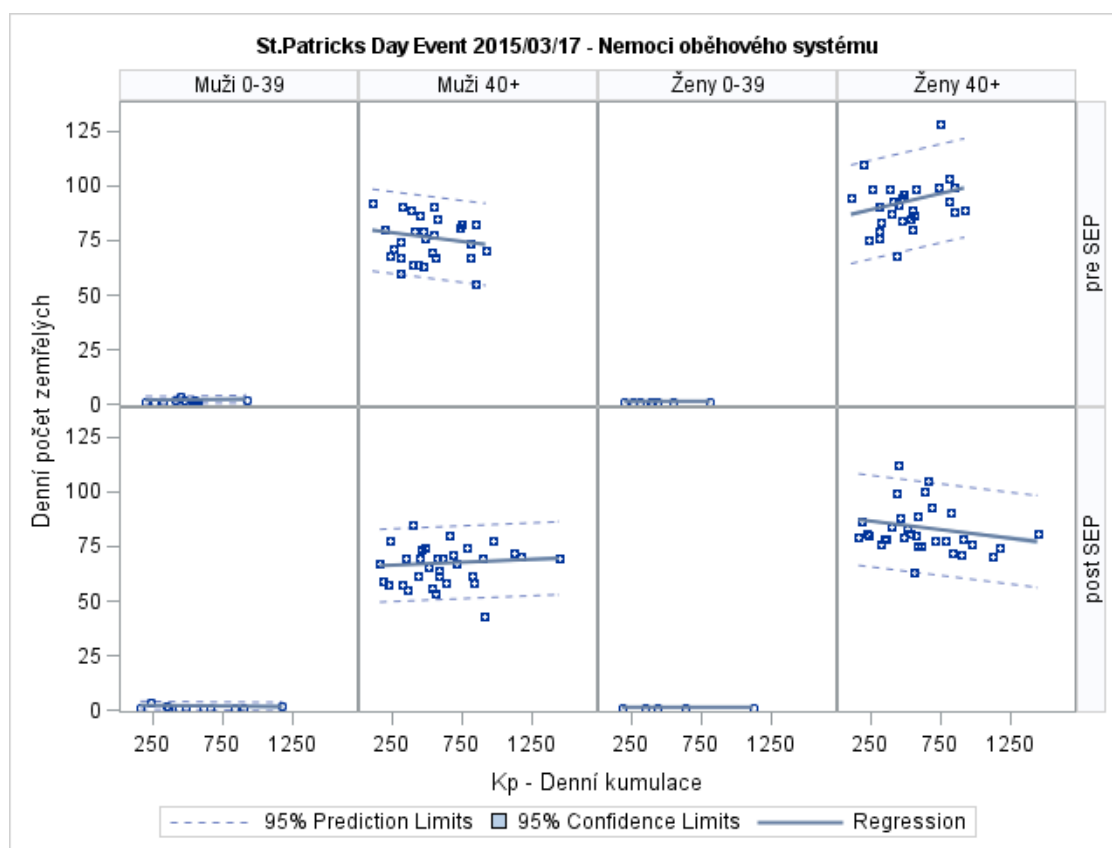
Obrázek 43 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 17.2.2015–17.4.2015

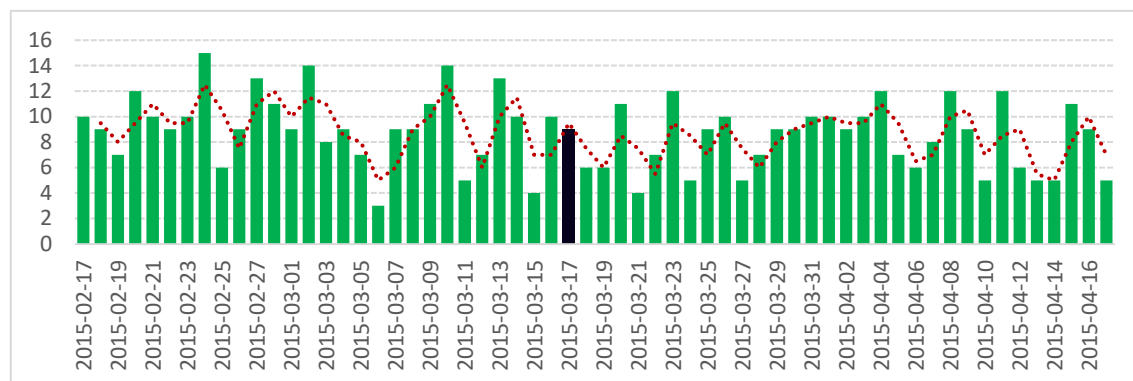
Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 17. 3. 2015.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

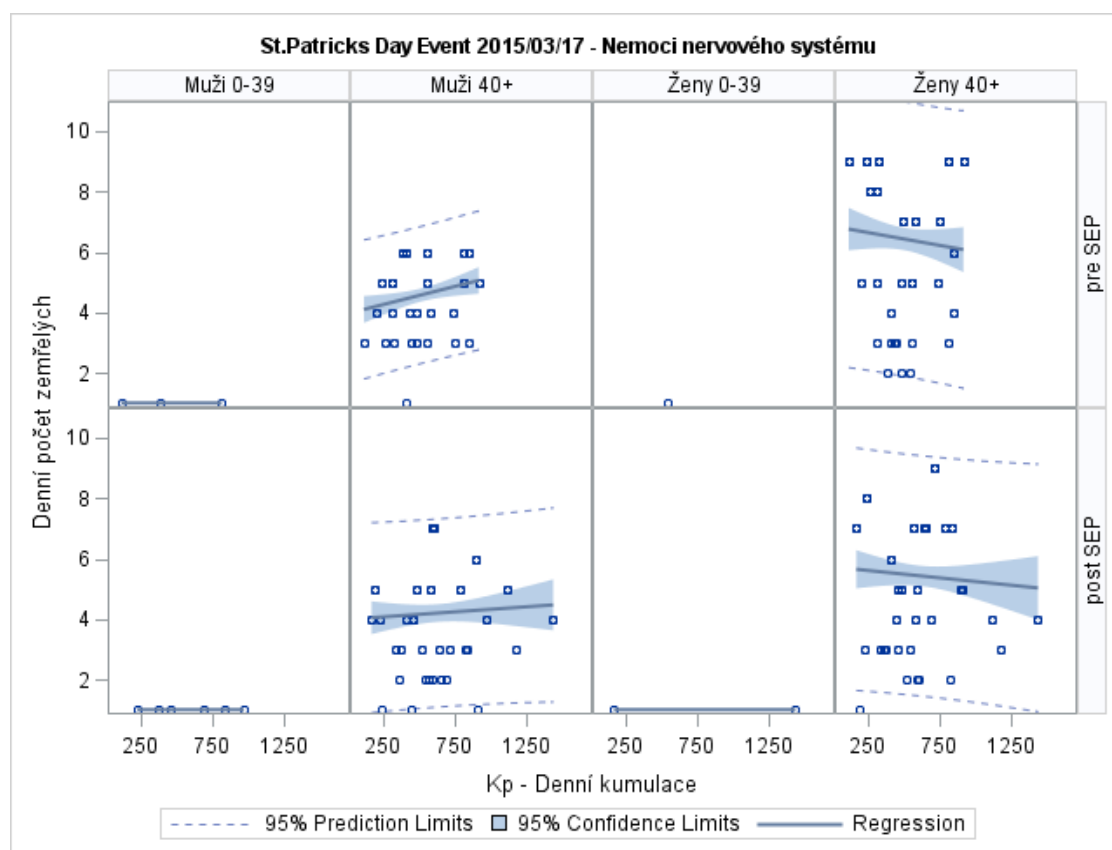
U nemocí oběhového systému u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace pouze se slunečním radiovým tokem $F10,7$ a indexem Dst . U žen i mužů nad 40 let bylo nalezeno snížení korelace pro index Kp a pro protonový tok $PF30$. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 31). V tabulce je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému po bouři na sluneční protonový tok $PF30$ jen u mužů nad 40 let a žen nad 40 let před bouří. To odpovídá tomu, že tato sluneční bouře zasáhla Zemi v noci místního času a geomagnetická bouře v časných ranních hodinách, proto se podmíněná závislost počtu zemřelých na slunečním protonovém toku $PF30$ projevila jen u dvou sledovaných skupin. Vzhledem k výkyvům sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity i v době před bouří, lze v u této bouře sledovat podmíněnou závislost na Kp indexu naopak právě v této době.

V období 30 dní po této sluneční bouři je pro denní počty zemřelých na nemoci nervové soustavy identifikováno zvýšení korelace u mužů i žen nad 40 let pro sluneční radiový tok $F10,7$ a geomagnetický index Dst . Naopak pro muže nad 40 let se snížila korelace s indexem Kp . Ostatní korelace byly beze změn. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí (tabulka 32) jsou viditelné změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých na nemoci nervové soustavy na časových řadách fyzikálních parametrů mezi sledovanými obdobími před a po této sluneční bouři. Vzhledem k výkyvům sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity i v době před bouří, lze v u této bouře sledovat podmíněnou závislost na slunečním radiovém toku $F10,7$ právě v době před bouří.

Obrázek 44 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (100–I99), 17.2.2015–17.4.2015**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 45 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (100–I99), 17.2.2015–17.4.201****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Obrázek 46 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2015–17.4.2015

Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 47 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2015–17.4.2015

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 31 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2015–17.4.2015

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,51687	✗	✓	✗	1	0,58620
	Muži 40+	8,47747	✗	✓	✗	1	0,22743
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	11,09207	✗	✓	✓	2	0,14064
post SEP	Muži 0-39	0,81789	✗	✗	✗	0	0,06826
	Muži 40+	8,40326	✓	✗	✓	2	0,03101
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	10,39334	✓	✗	✗	1	0,09645

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 32 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 17.2.2015–17.4.2015

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	1,13831	✗	✓	✗	1	0,44890
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	2,25342	✗	✗	✗	0	0,05455
post SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	1,55689	✓	✗	✓	2	0,11307
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,99264	✓	✗	✗	1	0,14996

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

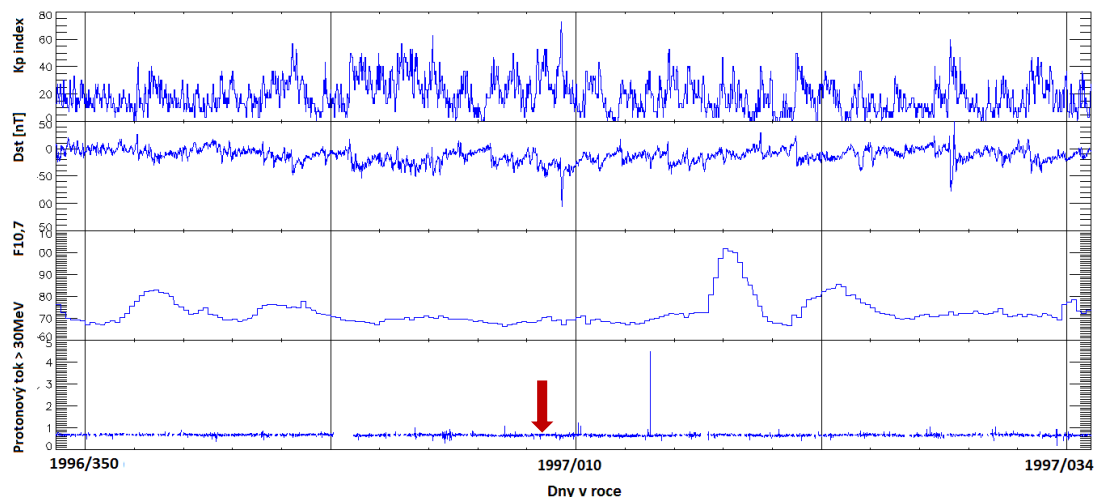
Zdroj: Vlastní výpočet.

6.6.5 Bouře ze dne 7. 1. 1997

K této události došlo 6. 1. 1997 v 15:10 UT, disturbance zemského magnetického pole nastaly 10. 1. 1997 v 01:04 UT kdy index *Dst* poklesl na -78 nT. Magnetická bouře je v grafu na obrázku viditelná jako kolísání indexu *Kp* a krátký pokles indexu *Dst*. Tato bouře byla výjimečná silnými doprovodnými radiovými bouřemi (Tsuji, 2012). Území České republiky bylo této události vystaveno v denních hodinách a zemské magnetické pole bylo narušeno v noci.

Z grafu průběhu slunečního protonového toku *PF30* (dolní panel na obrázku 48) je viditelné skokové zesílení protonového toku 14 dní po geomagnetické bouři. Sluneční radiový tok *F10,7* se zvýšil na hodnotu 100 až 27 dní po magnetické bouři.

Obrázek 48 – Geomagnetické indexy, *F10,7* a protonový tok > 30 MeV - 7.12.1996–7.2.1997



Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 7. 1. 1997.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Ve sledovaném období kolem této sluneční bouře denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 49) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 50) podle věku a pohlaví mají odlišné charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři.

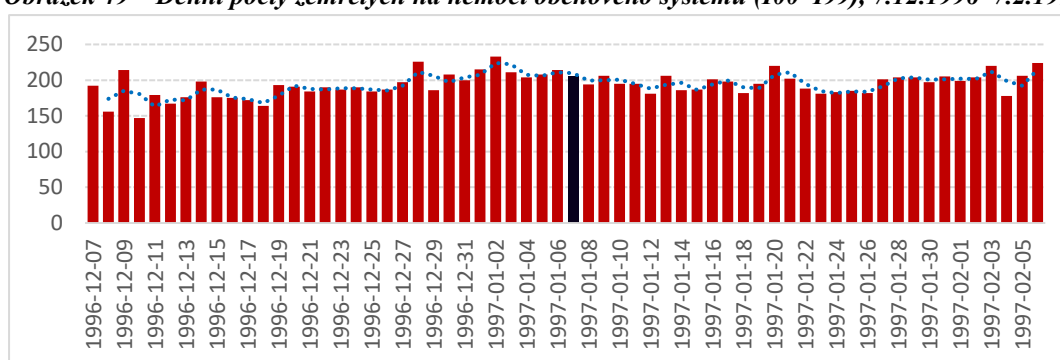
U *nemoci oběhového systému* u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace pouze se slunečním radiovým tokem *F10,7*, u žen nad 40 let i s geomagnetickým indexem *Kp* a naopak snížení pro sluneční protonový tok *PF30*. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 33). Z tabulky je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na sluneční protonový tok *PF30* jen u mužů nad 40 let, a to stejně v období 30 dní před i po sluneční bouři. Podmíněná závislost počtu zemřelých na geomagnetickém indexu *Kp* byla nalezena v období po sluneční bouři jen u žen v obou sledovaných věkových skupinách.

V období 30 dní po této sluneční bouři je pro denní počty zemřelých na *nemoci nervové soustavy* identifikováno zvýšení korelace u žen nad 40 let i do 39 dovršených let pro geomagnetický index *Dst*. U žen nad 40 let navíc i pro sluneční protonový tok *PF30*. Pro sluneční radiový tok *F10,7* a index *Kp* se korelace pro ženy nad 40 let včetně naopak snížila. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí (tabulka 34) jsou viditelné změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na časových řadách fyzikálních parametrů mezi sledovanými obdobími před a po této sluneční bouři. U skupiny nemoci nervové soustavy je na výsledných modelech podmíněných nezávislostí

identifikována podmíněná závislost denního počtu zemřelých na slunečním protonovém toku *FP30* v období 30 dní po sluneční bouři na u žen v obou věkových skupinách.

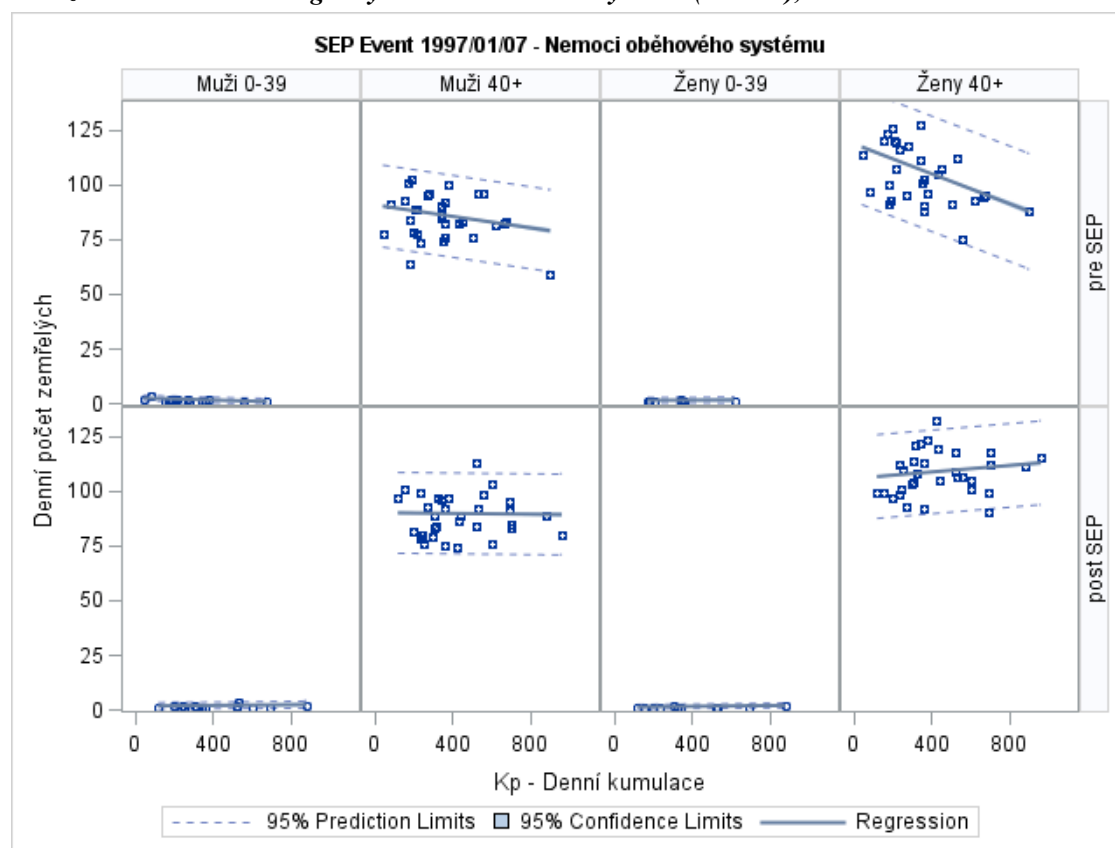
Provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity v minimalizovaných grafických modelech podmíněných nezávislostí nebyla v období této sluneční bouře nalezena ve skupině nemocí oběhového systému i nervové soustavy u žádné ze sledovaných skupin podle věku a pohlaví. Vzhledem k netypickému průběhu sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity během této geomagnetické bouře je rozdíl mezi obdobími před a po bouři méně zřetelný. Výsledky u této bouře se liší od výsledků z období čtyř silnějších bouří uvedených v předchozích podkapitolách zřejmě i proto, že ve sledovaném období došlo k dlouhodobějším geomagnetickým disturbancím.

Obrázek 49 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.12.1996–7.2.1997

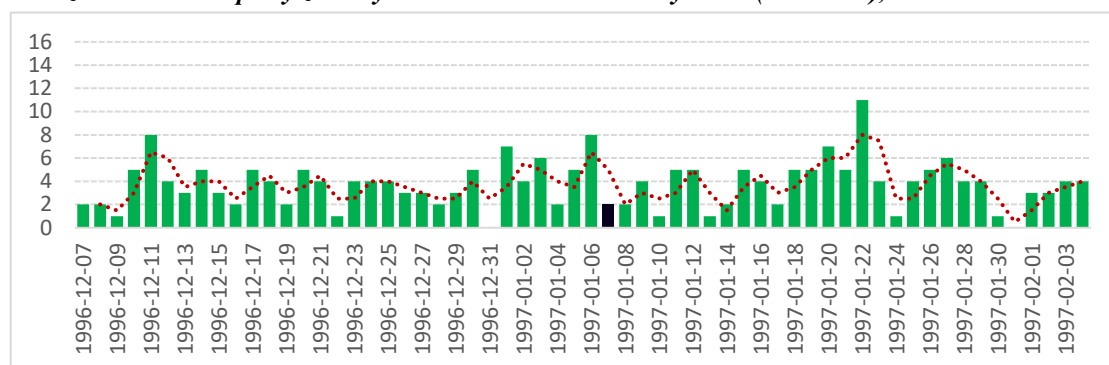
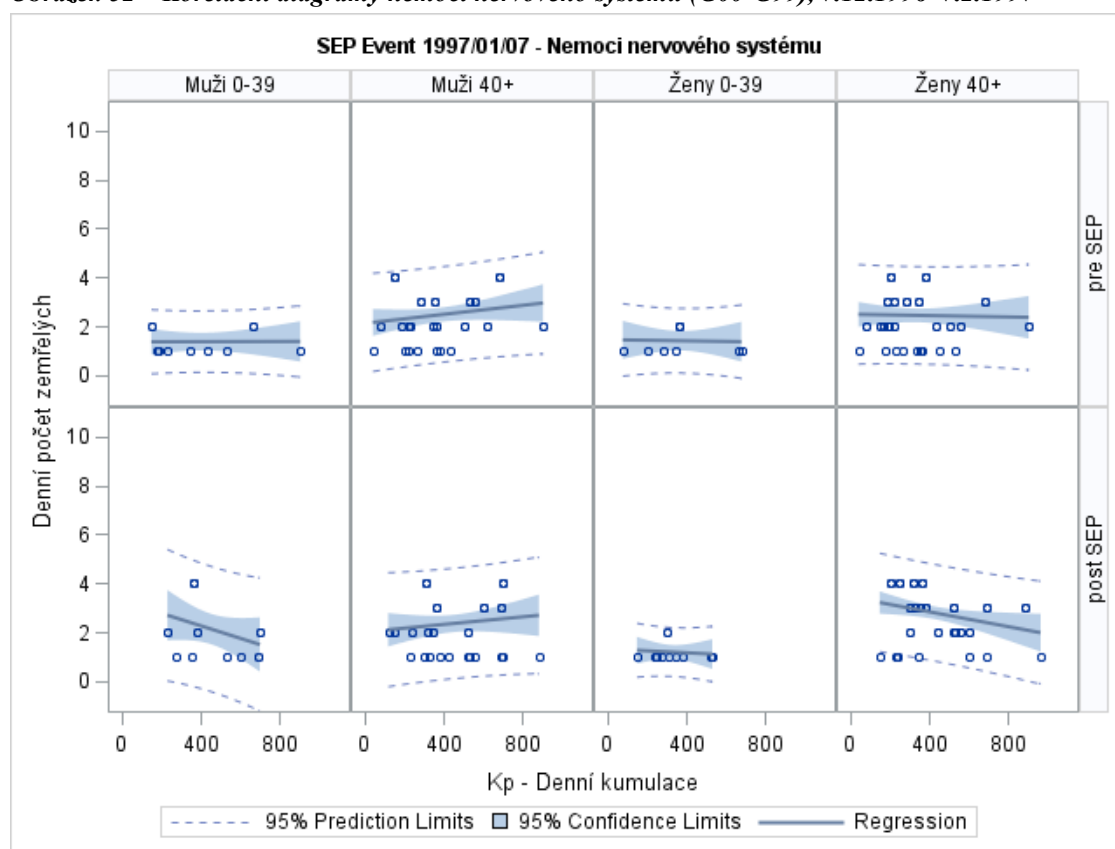


Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 50 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), 7.12.1996–7.2.1997



Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 51 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 7.12.1996–7.2.1997**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 52 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 7.12.1996–7.2.1997****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Tabulka 33 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (100–199), 7.12.1996–7.2.1997

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,55183	✓	✗	✗	1	0,39096
	Muži 40+	9,94229	✗	✗	✓	1	0,07866
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	12,05380	✗	✗	✗	0	0,34611
post SEP	Muži 0-39	0,66147	✗	✗	✗	0	0,19784
	Muži 40+	9,35528	✓	✗	✓	2	0,15772
	Ženy 0-39	0,44512	✗	✓	✗	1	0,21298
	Ženy 40+	8,47768	✓	✓	✗	2	0,26471

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů $F10,7$ (sluneční radiový tok), geomagnetický index Kp a $PF30$ (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu $> 0,05$.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 34 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 7.12.1996–7.2.1997

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,47441	✓	✗	✗	1	0,20424
	Muži 40+	0,91364	✗	✗	✗	0	0,01490
	Ženy 0-39	0,29791	✗	✓	✓	2	0,77812
	Ženy 40+	0,90116	✗	✗	✗	0	0,16517
post SEP	Muži 0-39	1,03767	✗	✗	✗	0	0,04059
	Muži 40+	1,08709	✗	✗	✗	0	0,04656
	Ženy 0-39	0,34000	✗	✗	✓	1	0,36421
	Ženy 40+	0,92175	✗	✗	✓	1	0,21651

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů $F10,7$ (sluneční radiový tok), geomagnetický index Kp a $PF30$ (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu $> 0,05$.

Zdroj: Vlastní výpočet.

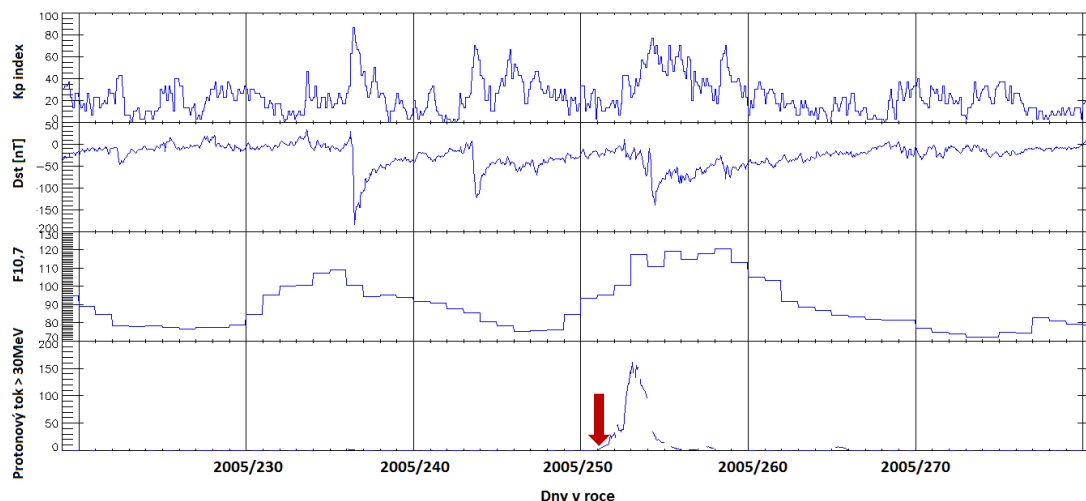
6.6.6 Bouře ze dne 7. 9. 2005

K této události třídy X15 došlo 7. 9. 2005 v 19:48 UT, disturbance zemského magnetického pole nastaly od 24. 8. 2005 06:13 do 11. 9. 2005 01:14 UT, kdy index Dst poklesl na -139 nT. Území České republiky bylo této události vystaveno ve večerních hodinách a zemské magnetické pole bylo narušeno ve dne i v noci (Tsuji, 2012).

Z grafu na obrázku 53 je vidět, že v období 30 dní před sledovanou sluneční bouří došlo již ke dvěma geomagnetickým bouřím a postupnému zesílení slunečního radiového toku $F10,7$ až na

hodnotu 110. K zesilování protonového toku došlo asi 10 dní po sluneční bouři. Magnetická bouře je identifikovatelná v grafu jako vzestup indexu Kp a prudký pokles indexu Dst a následná relaxace. Sluneční radiový tok $F10,7$ postupně rostl z hodnoty 80 na 150 před i po sluneční bouři.

Obrázek 53 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok $> 30 \text{ MeV}$ - 7.8.2005–7.10.2005



Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 7. 9. 2005.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Ve sledovaném období kolem této sluneční bouře denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 54) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 56) podle věku a pohlaví mají odlišné charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři zejména pro nemoci nervové soustavy.

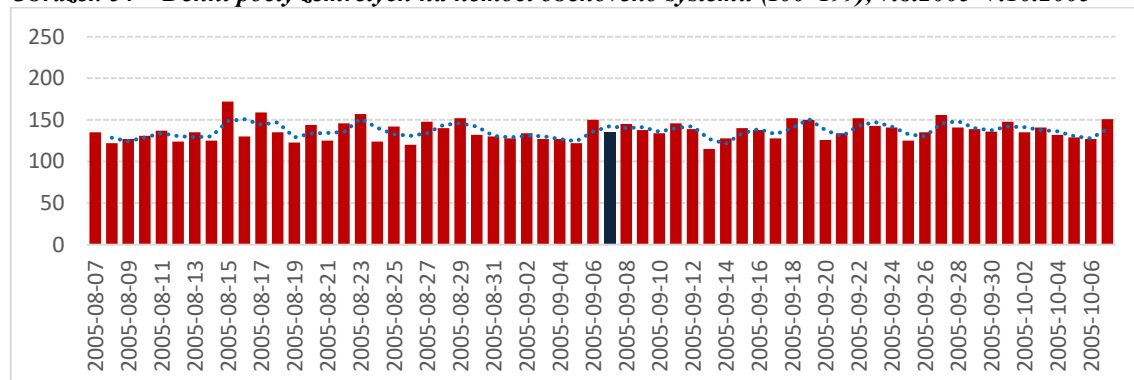
U nemoci oběhového systému u mužů i žen ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace pouze s indexem Kp . U mužů nad 40 let došlo ke snížení korelace pro sluneční radiový tok $F10,7$. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 35). V tabulce je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na sluneční protonový tok $PF30$ jen u mužů ve skupině 0-39 let a u žen nad 40 let. Sluneční radiový tok $F10,7$ v minimalizovaných modelech pro období po sluneční bouři odpovídá tomu, že k této bouři došlo ve večerních hodinách místního času v České republice.

V období 30 dní po této sluneční bouři jsou pro denní počty zemřelých na nemoci nervové soustavy identifikovány změny charakteristik pro sluneční radiový tok $F10,7$ u žen nad 40 let a geomagnetický index Dst u mužů nad 40 let. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této disertační práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou rovněž ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí (tabulka 36) jsou viditelné změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na časových řadách fyzikálních parametrů mezi sledovanými obdobími před a po této sluneční bouři. Podmíněná závislost denních počtů zemřelých na slunečním protonovém toku nebyla nalezena v období před ani po této sluneční bouři u žádné ze sledovaných skupin podle věku a pohlaví. U mužů i žen nad 40 let je identifikována podmíněná závislost s geomagnetickým indexem Kp pouze v období 30 dní před

sluneční bouří. To zřejmě souvisí s tím, že geomagnetické disturbance byly v tomto období výraznější než po sluneční bouři.

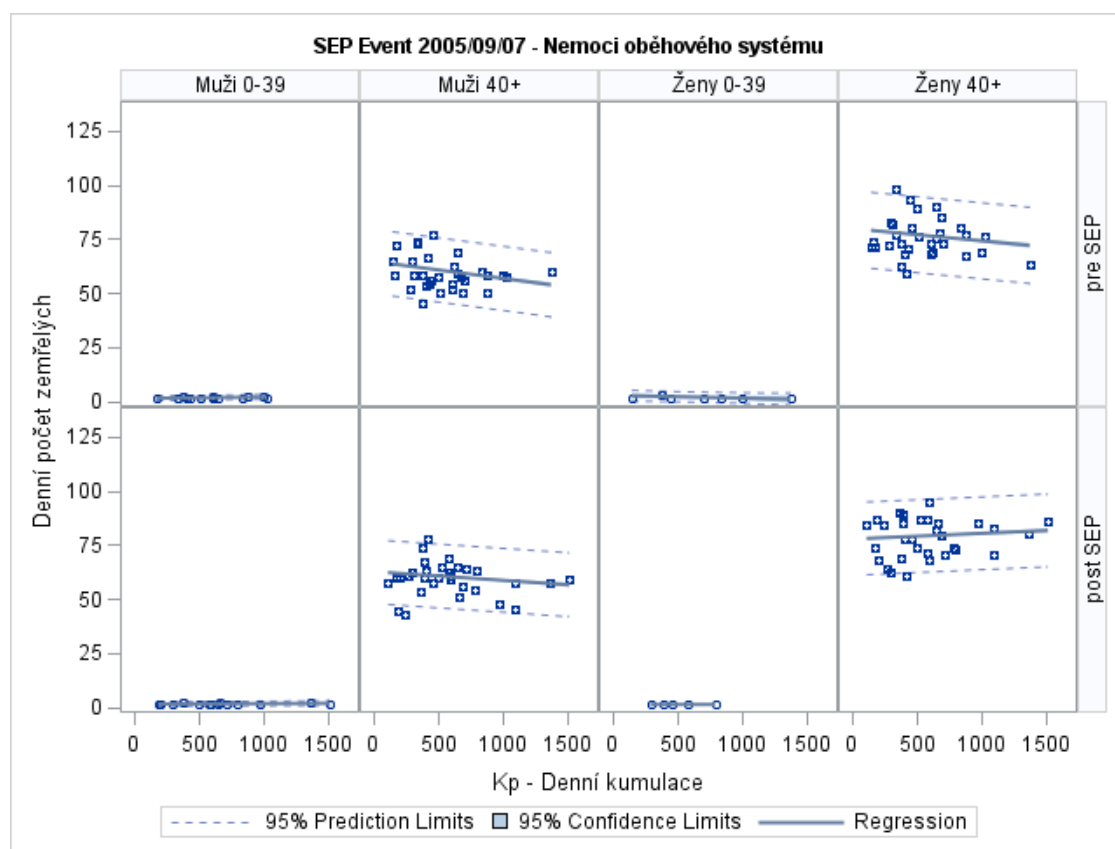
U obou skupin diagnóz (VI. a IX.) v žádné ze sledovaných skupin podle věku a pohlaví nebyla nalezena ve výsledných modelech provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity. Vzhledem ke geomagnetickým disturbancím v období před touto geomagnetickou bouří je rozdíl mezi obdobími před a po bouři méně zřetelný a liší se tak od výsledků v období čtyř silnějších bouří uvedených v prvních čtyřech podkapitolách.

Obrázek 54 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (100–199), 7.8.2005–7.10.2005

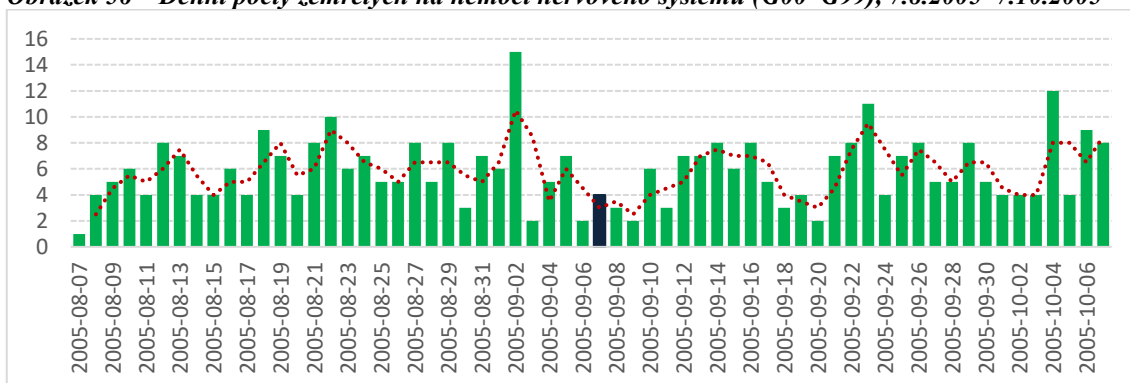
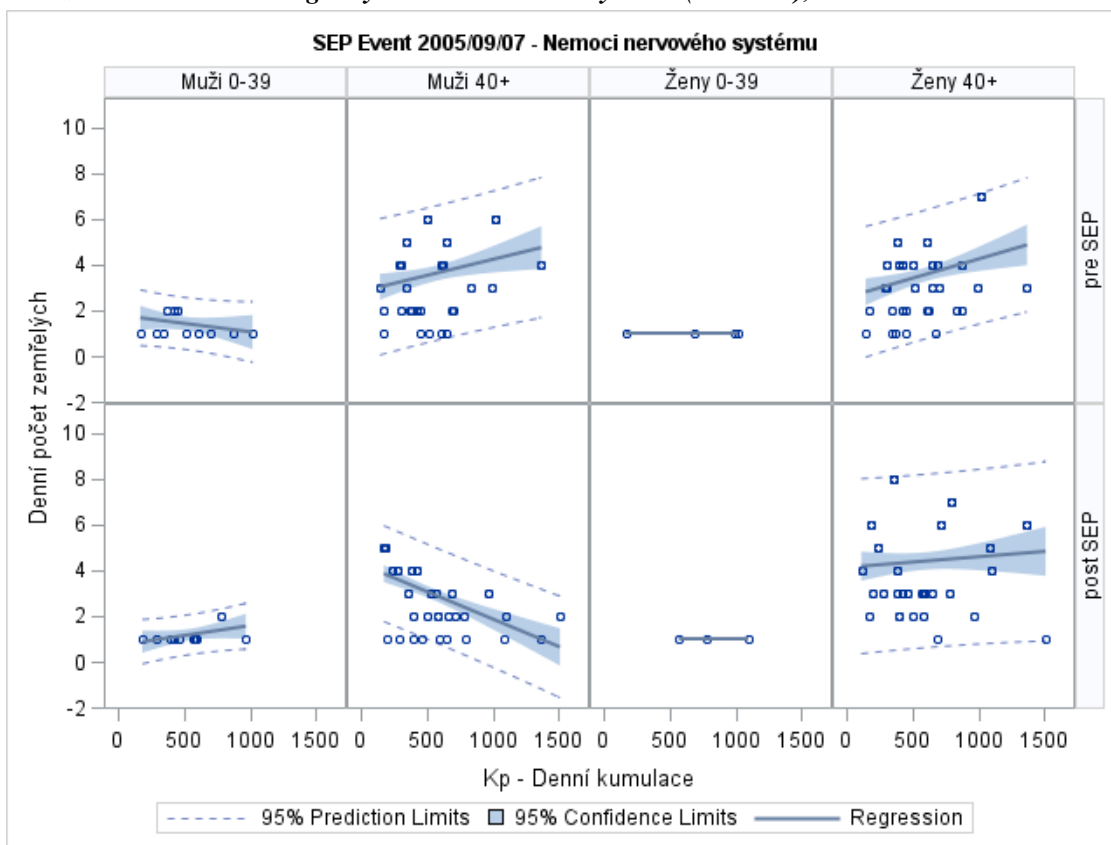


Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 55 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (100–199), 7.8.2005–7.10.2005



Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 56 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 7.8.2005–7.10.2005**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 57 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 7.8.2005–7.10.2005****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Tabulka 35 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (100–199), 7.8.2005–7.10.2005

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,48520	✗	✓	✗	1	0,13589
	Muži 40+	6,94077	✓	✗	✓	2	0,19869
	Ženy 0-39	0,57300	✓	✗	✗	1	0,75376
	Ženy 40+	8,80343	✗	✗	✗	0	0,03672
post SEP	Muži 0-39	0,44756	✓	✗	✓	2	0,24884
	Muži 40+	7,22565	✗	✓	✗	1	0,10777
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	8,48815	✗	✓	✓	2	0,33089

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 36 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 7.8.2005–7.10.2005

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,32717	✓	✗	✗	1	0,62536
	Muži 40+	1,42960	✗	✓	✗	1	0,14286
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,38646	✗	✓	✗	1	0,13949
post SEP	Muži 0-39	0,31714	✓	✗	✗	1	0,44683
	Muži 40+	1,03411	✗	✗	✗	0	0,03584
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,87765	✓	✗	✗	1	0,32962

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

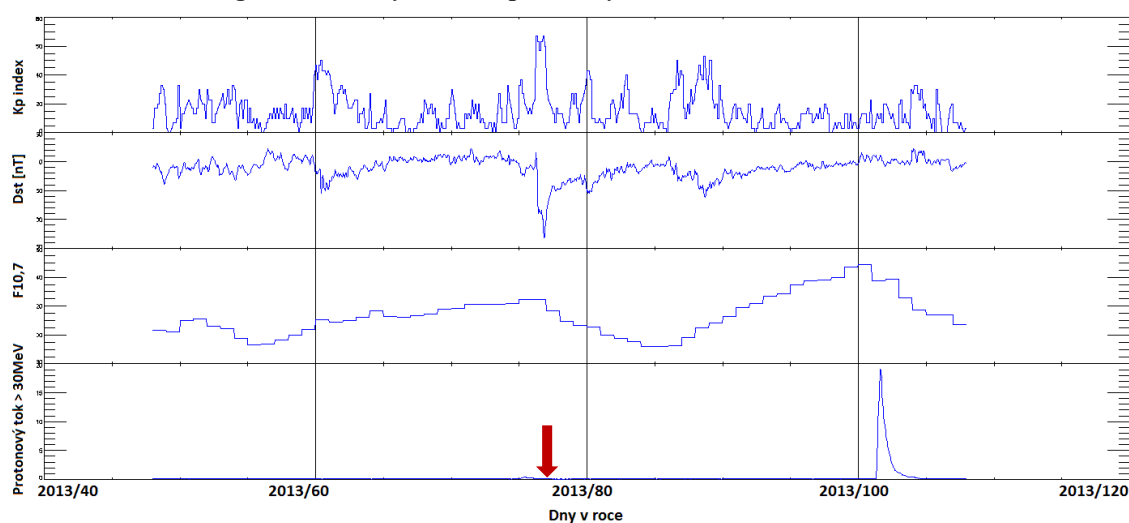
Zdroj: Vlastní výpočet.

6.6.7 Bouře ze dne 17. 3. 2013

K této sluneční bouři došlo 15. 3. 2013 v 07:12 UT, disturbance zemského magnetického pole nastala 17. 3. 2013 05:59 UT, kdy index Dst poklesl na -132 nT (NOAA, 2014). Území České republiky bylo této události vystaveno ve dne a zemské magnetické pole bylo narušeno také v denních hodinách následujícího dne.

Z grafu na obrázku 58 je viditelné zesílení protonového toku až 27 dní po sluneční bouři. Magnetická bouře je identifikovatelná v grafu jako vzestup indexu Kp a pokles indexu Dst a následná relaxace. Sluneční radiový tok $F10,7$ ve sledovaném období kolísal jen mezi hodnotami 30 a 60. V celkovém pohledu nebyla tato sluneční bouře výrazně geoefektivní.

Obrázek 58 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 17.2.2013–17.4.2013



Poznámka: Červená šipka na časové ose vyznačuje den sluneční bouře 17. 3. 2013.

Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

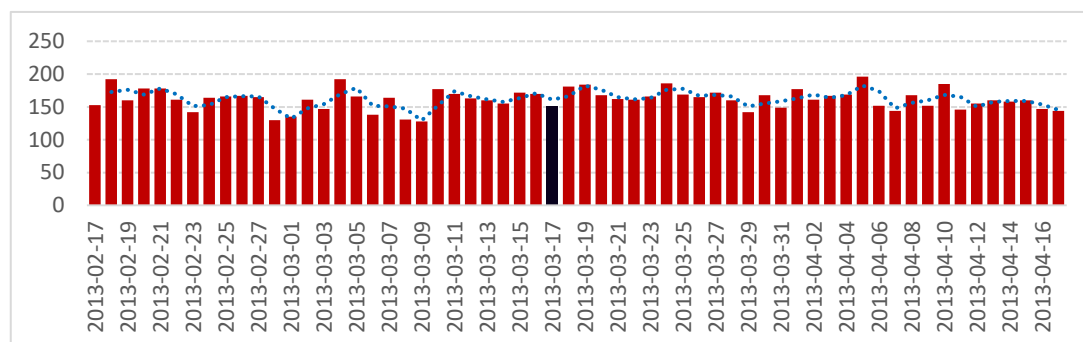
U věkových skupin, ve kterých jsou vzhledem k charakteru onemocnění nižší počty zemřelých, nejsou výsledky výpočtu modelů statisticky signifikantní. Jde o věkové skupiny 0-39 let pro muže i ženy u nemocí oběhového systému i nervové soustavy. V období sledovaném kolem této sluneční bouře denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) (obrázek 59) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) (obrázek 61) podle věku a pohlaví mají odlišné statistické charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři.

U *nemocí oběhového systému* bylo nalezeno zvýšení korelace pro sluneční radiový tok u žen nad 40 let, u mužů naopak bylo identifikováno snížení. Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou (tabulka 37). V tabulce je viditelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému v období po sluneční bouři na slunečním protonovém toku $PF30$ u mužů nad 40 let a u žen ve věkové skupině 0-39 let. Podmíněná závislosti se slunečním protonovým tokem $PF30$ v minimalizovaných modelech pro období po sluneční bouři odpovídají tomu, že k jeho zesílení došlo až 27 dní po sluneční bouři, tedy na konci sledovaného období. Podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci oběhového

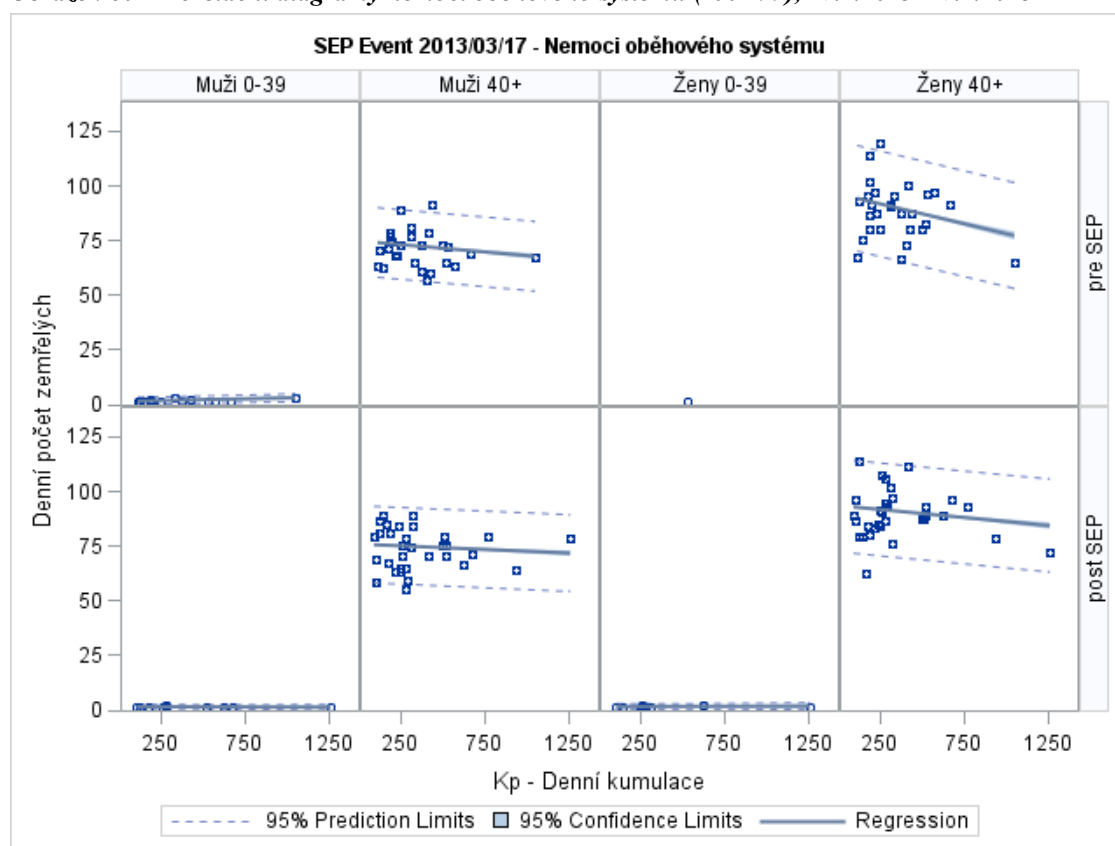
systému se slunečním radiovým tokem $F10,7$ jsou v době po sluneční bouři identifikovány u všech skupin kromě mužů nad 40 let.

V období této sluneční bouře je pro denní počty zemřelých na *nemoci nervové soustavy* identifikováno zvýšení korelace se slunečním protonovým tokem $FP30$ a indexem Dst ve skupině mužů nad 40 let včetně. U žen ve stejné věkové skupině došlo naopak k mírnému snížení korelace oproti období před bouří pro sluneční protonový tok $FP30$ a stejně jako u mužů v téže věkové skupině pro geomagnetický index Kp . Kompletní korelační diagramy jsou uvedeny v příloze 3 této práce. Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou ve shodě s korelační analýzou. Na výsledcích výpočtu grafického modelu podmíněných nezávislostí (tabulka 38) jsou viditelné změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých na nemoci oběhového systému na časových řadách fyzikálních parametrů mezi sledovanými obdobími před a po této sluneční bouři. Ve vypočtených minimalizovaných grafických modelech je identifikovatelná podmíněná závislost denního počtu zemřelých na nemoci nervové soustavy v období po sluneční bouři na slunečním protonovém toku $PF30$ jen u mužů v obou věkových skupinách. To rovněž odpovídá tomu, že k jeho zesílení došlo až 27 dní po sluneční bouři, tedy na konci sledovaného období.

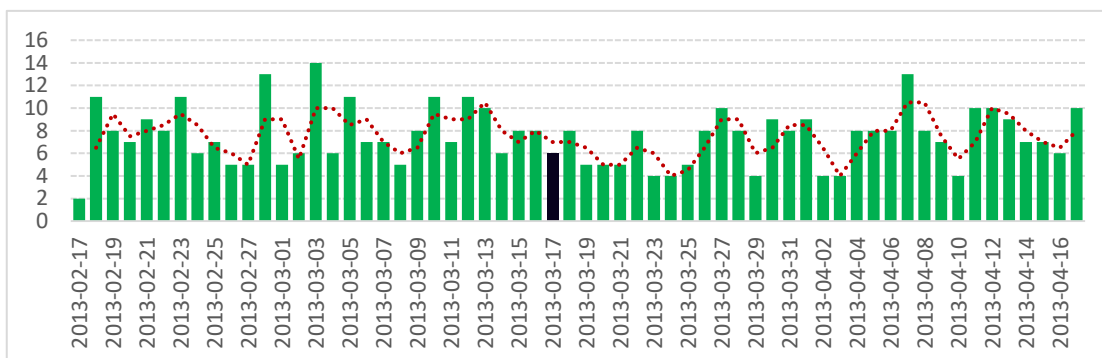
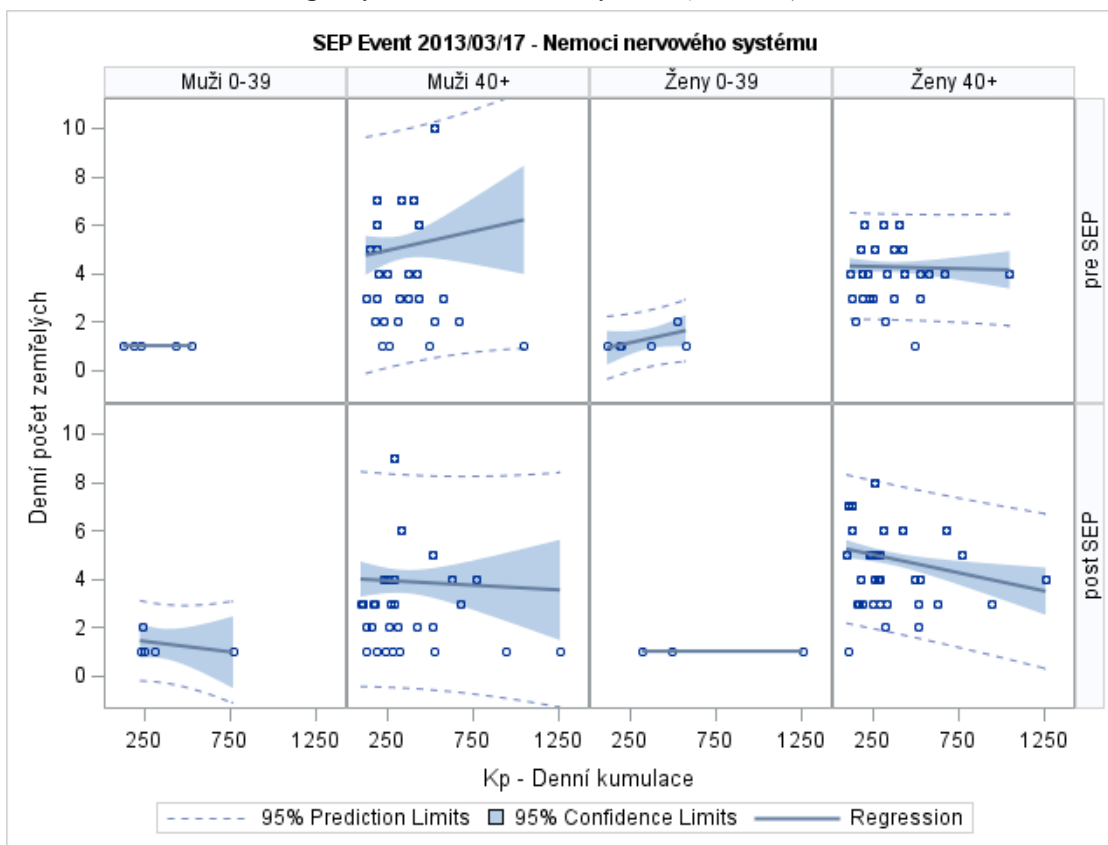
U obou skupin diagnóz (VI. a IX.) v žádné ze sledovaných skupin podle věku a pohlaví nebyla nalezena ve výsledných modelech provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity. Působení sledovaných složek sluneční a geomagnetické aktivity je zde tedy komplexní. Podmíněná závislost na geomagnetickém indexu Kp je identifikována pouze pro muže ve věkové skupině 0-39 let u nemocí oběhového systému. Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí u této bouře jsou zde ovlivněny její nízkou geoefektivitou a zvýšením slunečního protonového toku až na konci sledovaného období.

Obrázek 59 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (100–199), 17.2.2013–17.4.2013

Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 60 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (100-199), 17.2.2013–17.4.2013

Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 61 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2013–17.4.2013**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 62 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00–G99), 17.2.2013–17.4.2013****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Tabulka 37 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), 17.2.2013–17.4.2013

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	0,63426	✗	✓	✓	2	0,55748
	Muži 40+	7,99154	✓	✗	✗	1	0,35009
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	11,03420	✗	✗	✗	0	0,02735
post SEP	Muži 0-39	0,40022	✓	✗	✗	1	0,11904
	Muži 40+	8,19562	✗	✗	✓	1	0,16782
	Ženy 0-39	0,33080	✓	✗	✓	2	0,65608
	Ženy 40+	10,73512	✓	✗	✗	1	0,43618

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 38 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), 17.2.2013–17.4.2013

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
pre SEP	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	2,44860	✓	✗	✗	1	0,07276
	Ženy 0-39	0,35077	✓	✗	✗	1	0,58986
	Ženy 40+	1,07451	✗	✗	✗	0	0,00304
post SEP	Muži 0-39	0,44920	✗	✗	✓	1	0,54599
	Muži 40+	1,98086	✓	✗	✓	2	0,19904
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,52766	✗	✗	✗	0	0,00774

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech před (pre SEP) a po sluneční bouři (post SEP). Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

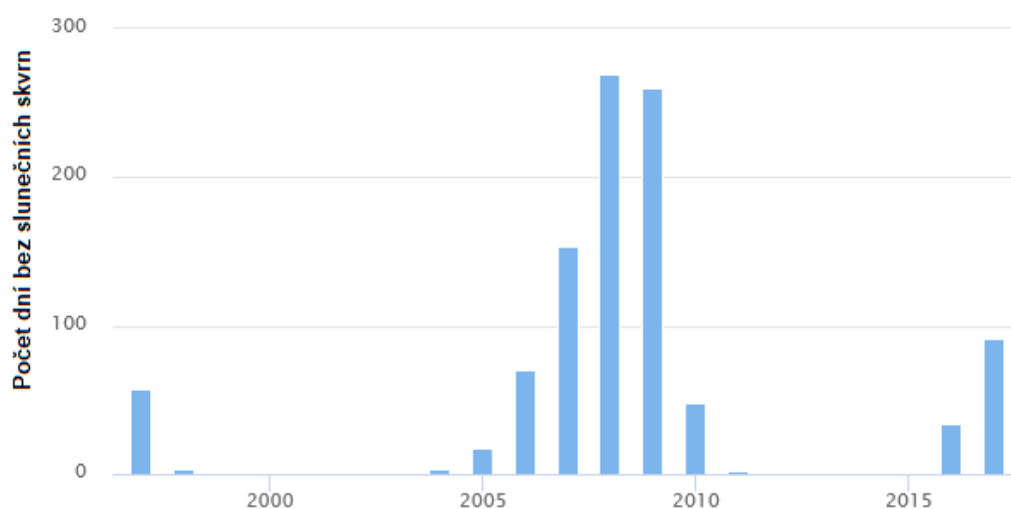
6.7 Porovnání s obdobími nízké sluneční aktivity

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.6., jako kontrolní soubor byla použita klidová období sluneční aktivity, tedy období s minimálně 30 dny bez slunečních skvrn. Ve sledovaném období let 1994–2015 se vyskytla tři období, kdy bylo Slunce alespoň 30 dní zcela bez slunečních skvrn a sluneční aktivita tedy byla velmi nízká.

Období 42 dní bez slunečních skvrn (a tedy nízké úrovně sluneční aktivity) 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996 bylo ve slunečním minimu na počátku slunečního cyklu č. 23, období 31 dní bez slunečních skvrn 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008 na počátku velmi nízkého minima na konci slunečního cyklu č. 23 a období 32 dní bez slunečních skvrn 31. 7. 2009 – 31. 8. 2009 za bezprecedentně nízké sluneční aktivity v minimu po téže cyklu (NOAA, 2014). Počty dní s nulovým počtem slunečních skvrn ve sledovaném období jsou zobrazeny na obrázku 63. První sledované období nízké sluneční aktivity je z počátku 23. cyklu, další dvě sledovaná období jsou z minima sluneční aktivity mezi 23. a 24. cyklem.

Na obrázcích 64, 69 a 74 vidíme změny (shora dolů) hodnot tříhodinového Kp indexu, hodinové hodnoty indexu Dst , denní hodnoty slunečního radiového toku $F10,7$ a hodinových hodnot slunečního protonového toku s energií větší než 30 MeV ve sledovaném období. Obrázky 65, 70 a 75 resp. 67, 72 a 77 ilustrují denní počty zemřelých na skupinu příčin smrti IX. nemoci oběhového systému (I00–I99) resp. VI. nemoci nervového systému (G00–G99). Tečkovaně jsou v grafech vyneseny třídenní klouzavé průměry denních počtů zemřelých ve skupinách. Na obrázcích 66, 71, 76 resp. 68, 73 a 78 jsou pro tyto skupiny příčin smrti vykresleny korelační diagramy pro věkové skupiny do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let, pro muže a ženy zvlášť a denní hodnoty agregovaného tříhodinového indexu Kp s vyznačenými 95% intervaly spolehlivosti a predikčními limity, pro sledovaná období.

Obrázek 63 – Počty dní ve sledovaném období s nulovým počtem slunečních skvrn



Zdroj: Upraveno podle SpaceWeatherLive.com, <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>.

Stejně jako u výpočtů u výjimečné sluneční bouře výsledek pro ženy do 39 dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Ženy 0-39* a výsledek pro ženy ve věku 40 a více dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Ženy 40+*. Výsledek pro muže do 39 dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Muži 0-39* a výsledek pro muže ve věku 40 a více dokončených let včetně je označen nadpisem panelu *Muži 40+*. Identické korelační diagramy byly i zde vypočteny i pro ostatní uvedené geofyzikální parametry (*Dst*, *F10,7* a protonový tok $>30\text{MeV PF30}$) a jsou uvedeny v příloze 4.

Výsledky analýzy metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou i zde ve shodě s korelační analýzou (tabulka 39 a 40). Z minimalizovaných grafů podmíněných nezávislostí je pro tato období patrná podmíněná závislost ve dvojicích náhodných vektorů reprezentujících časové řady 1(I00–I99)–2(*F10,7*) u nemocí oběhového systému v klidném období 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996 pro obě pohlaví ve věkové skupině nad 40 let, a v klidném období 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008 u mužů nad 40 let.

Časové řady denních počtů zemřelých mužů nad 40 let na nemoci nervové soustavy (G00–G99) jsou v tomto období podmíněně závislé (provázané) jen u mužů nad 40 let, v klidném období 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996 na slunečním radiovém toku (*F10,7*) a *Kp* indexu, a v klidném období 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008 na *Kp* indexu a slunečním protonovém toku *PF30*, což odpovídá 30 denním obdobím před slunečními bouřemi. V klidném období 31. 7. 2009 – 31. 8. 2009 nebyly nalezeny u žádné z časových řad podmíněné závislosti s počty zemřelých na obě sledované skupiny diagnóz.

V těchto obdobích, na rozdíl od období analyzovaných slunečních bouří, nebyla v minimalizovaných grafických modelech u žádné ze sledovaných skupin podle věku, pohlaví a skupiny diagnóz nalezena provázanost denního počtu zemřelých současně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity.

Tabulka 39 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci oběhového systému (I00–I99), v obdobích nízké sluneční aktivity

Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
13.9.1996 – 24.10.1996	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	0,34000	✓	✗	✗	1	0,73121
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	0,40022	✓	✗	✗	1	0,24884
21.7.2008 – 20.8.2008	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	0,33080	✓	✗	✗	1	0,35009
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	11,03420	✗	✗	✗	0	0,34611
31.7.2009 – 31.8.2009	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	8,19562	✗	✗	✗	0	0,19784
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	11,09207	✗	✗	✗	0	0,24884

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech v uvedeném období nízké sluneční aktivity. Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

Tabulka 40 – Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí pro nemoci nervové soustavy (G00–G99), v obdobích nízké sluneční aktivity

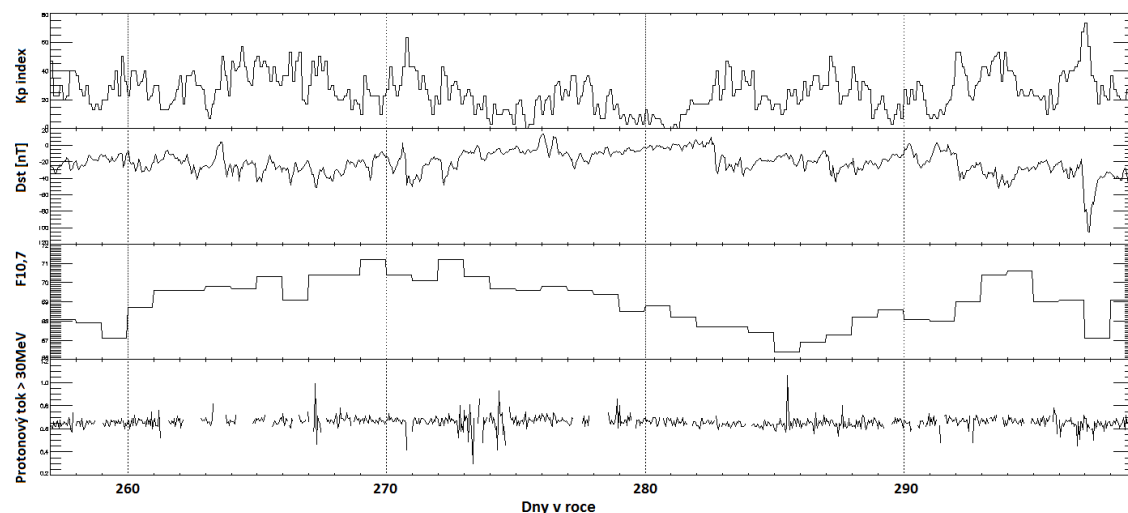
Model		Celková deviance výsledného modelu	F10,7	Kp	PF30	Počet hran výsledného modelu	p-hodnota testu
13.9.1996 – 24.10.1996	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	8,47768	✓	✓	✗	2	0,19869
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	0,91364	✗	✗	✗	0	0,75376
21.7.2008 – 20.8.2008	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	0,29791	✗	✓	✓	2	0,37100
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	1,03767	✗	✗	✗	0	0,02735
31.7.2009 – 31.8.2009	Muži 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Muži 40+	0,90116	✗	✗	✗	0	0,22743
	Ženy 0-39	nevyhovuje testu na normalitu a nezávislost logaritmických dat					
	Ženy 40+	0,91364	✗	✗	✗	0	0,16517

Poznámka: V tabulce jsou zaškrtnutím vyznačeny nalezené podmíněné závislosti mezi denními počty zemřelých a časovými řadami geofyzikálních parametrů *F10,7* (sluneční radiový tok), geomagnetický index *Kp* a *PF30* (sluneční protonový tok) v minimalizovaných grafických modelech v uvedeném období nízké sluneční aktivity. Model je akceptován pro p-hodnotu > 0,05.

Zdroj: Vlastní výpočet.

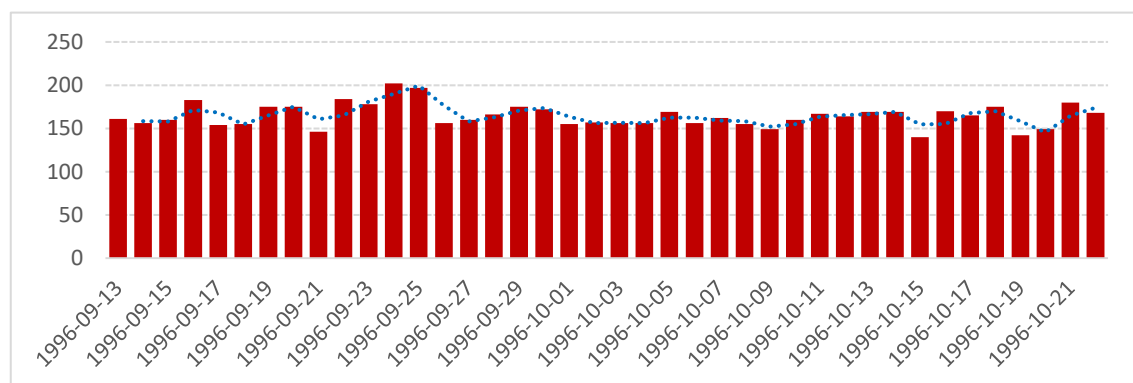
6.7.1 Období nízké sluneční aktivity 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996

Obrázek 64 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 13.9.1996–24.10.1996

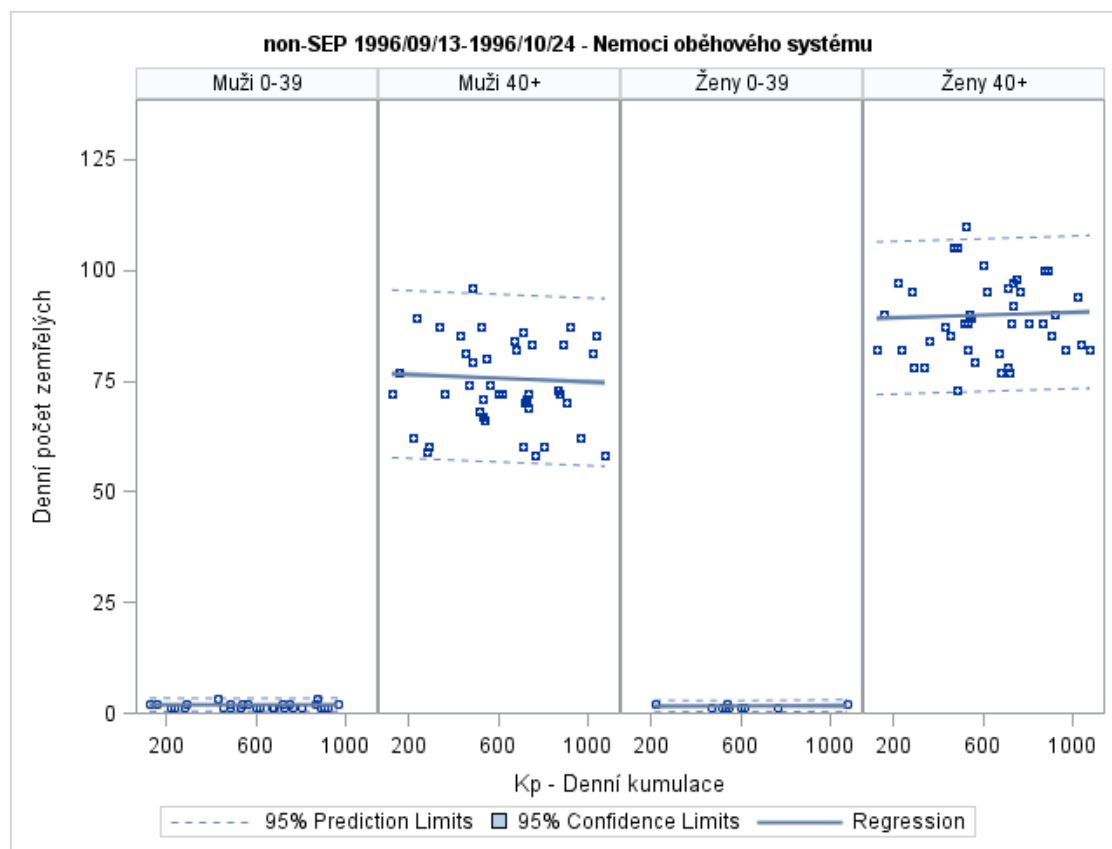


Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

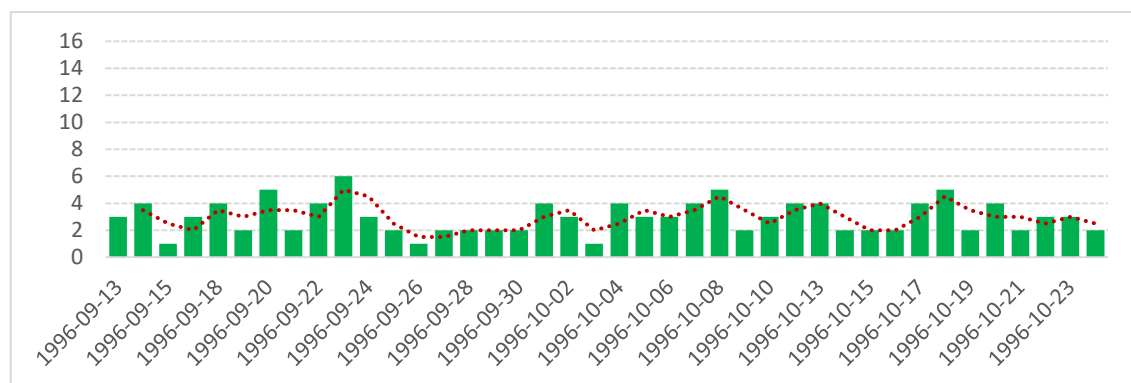
Obrázek 65 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 13.9.1996–24.10.1996



Zdroj: Vlastní výpočet.

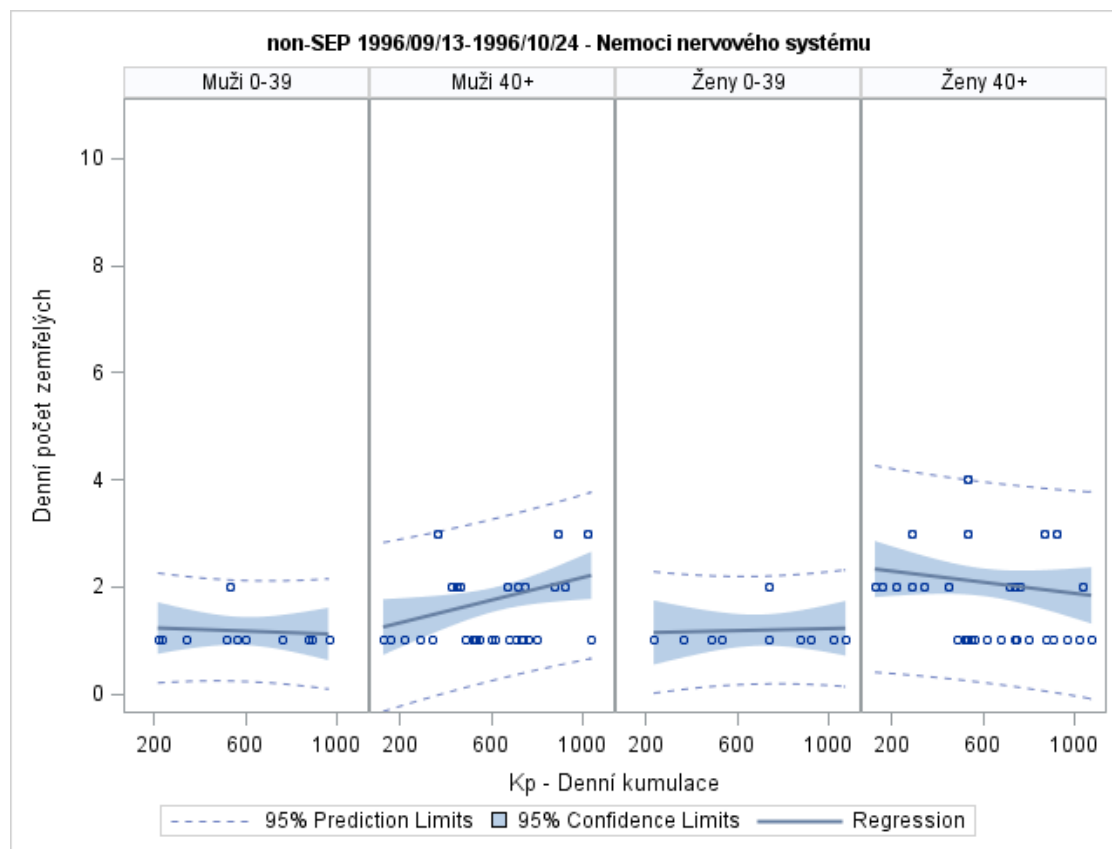
Obrázek 66 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), období 13.9.1996 – 24.10.1996

Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 67 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 13.9.1996–24.10.1996

Zdroj: Vlastní výpočet.

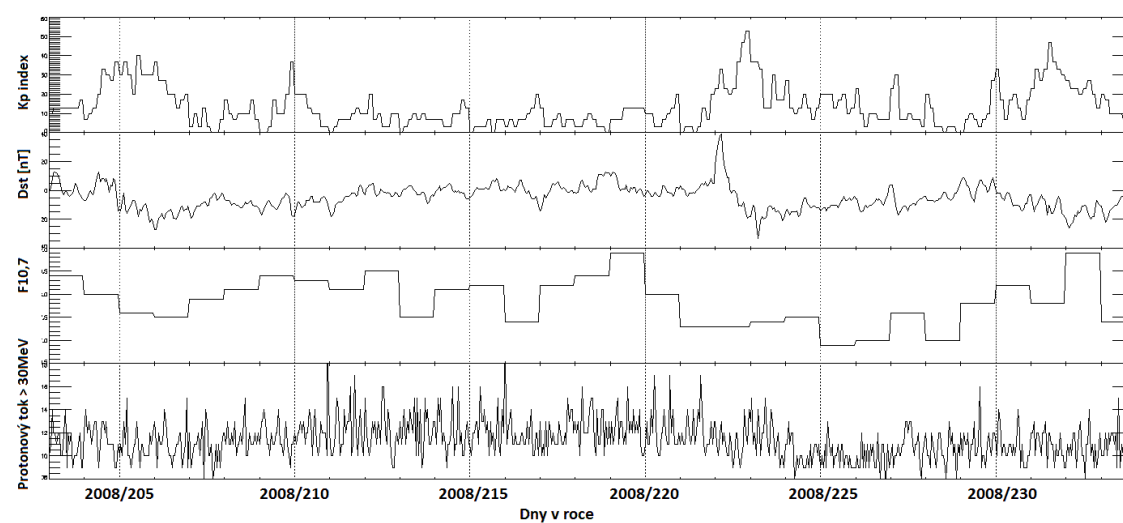
Obrázek 68 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), období 13.9.1996 – 24.10.1996



Zdroj: Vlastní výpočet.

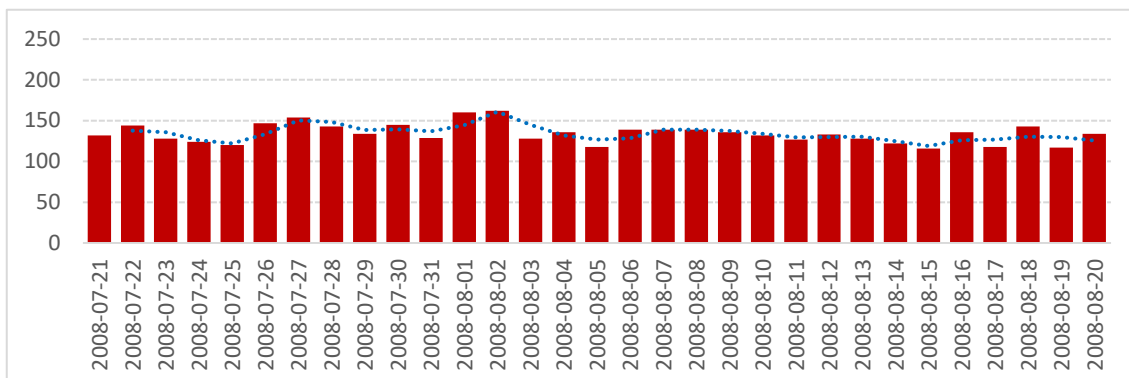
6.7.2 Období nízké sluneční aktivity 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008

Obrázek 69 – Geomagnetické indexy, F10,7 a protonový tok > 30 MeV - 21.7.2008–20.8.2008



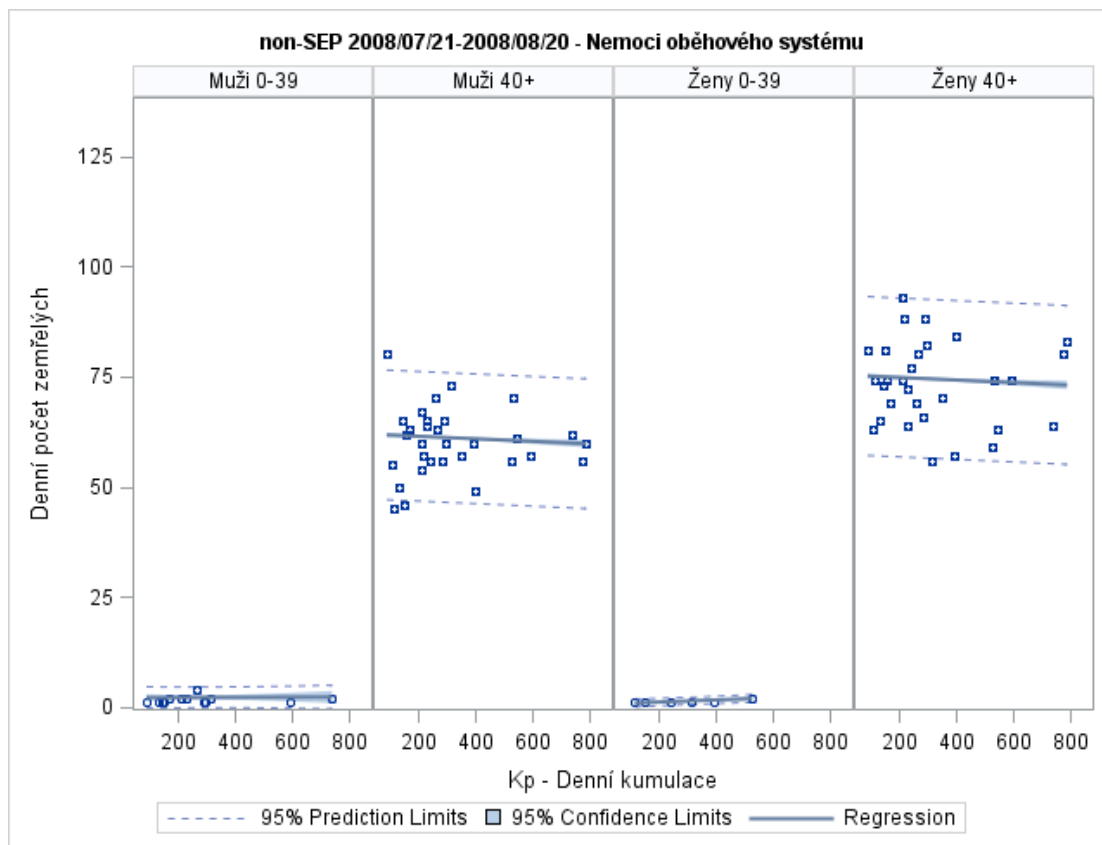
Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Obrázek 70 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 21.7.2008–20.8.2008

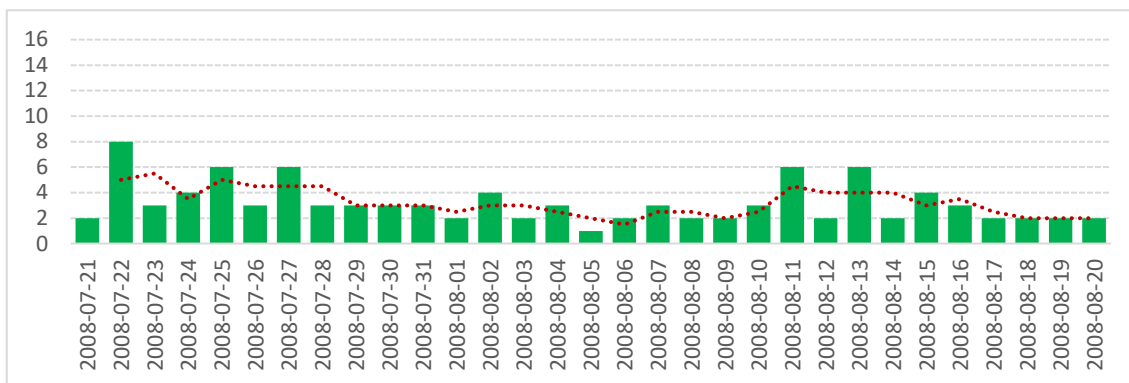
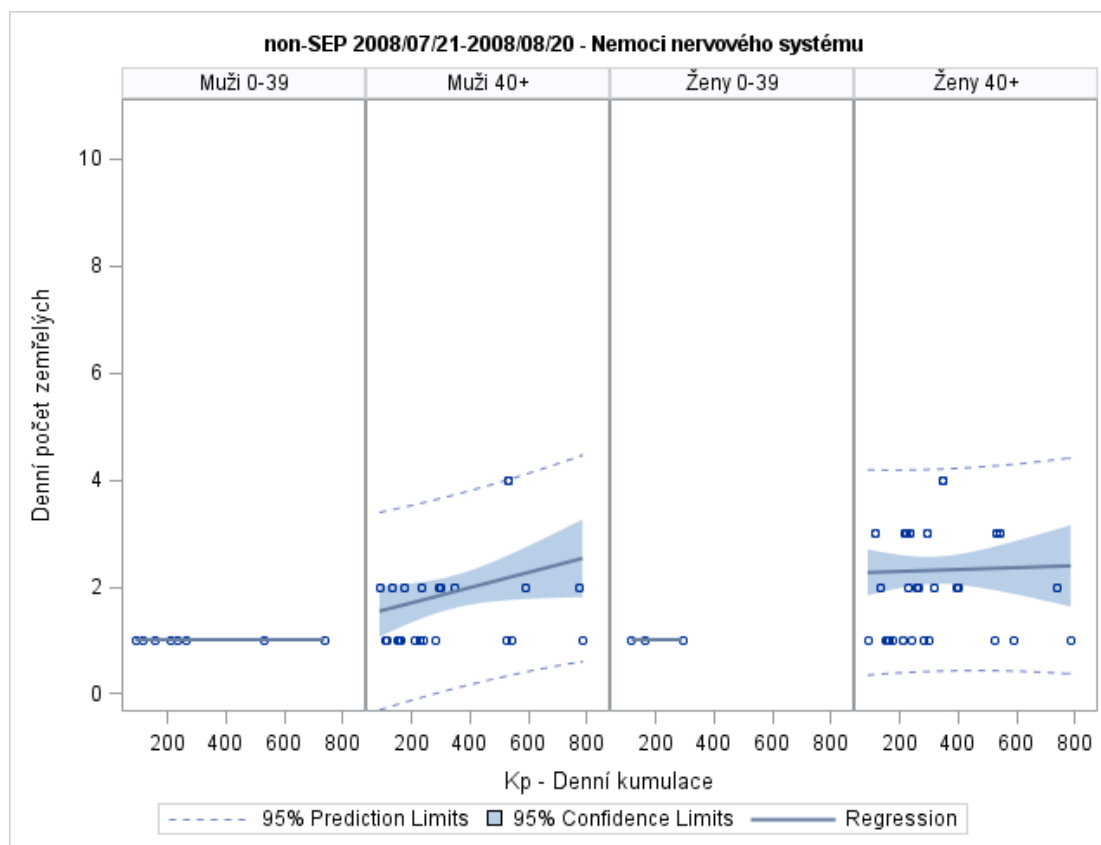


Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 71 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00–I99), období 21.7.2008 – 20.8.2008

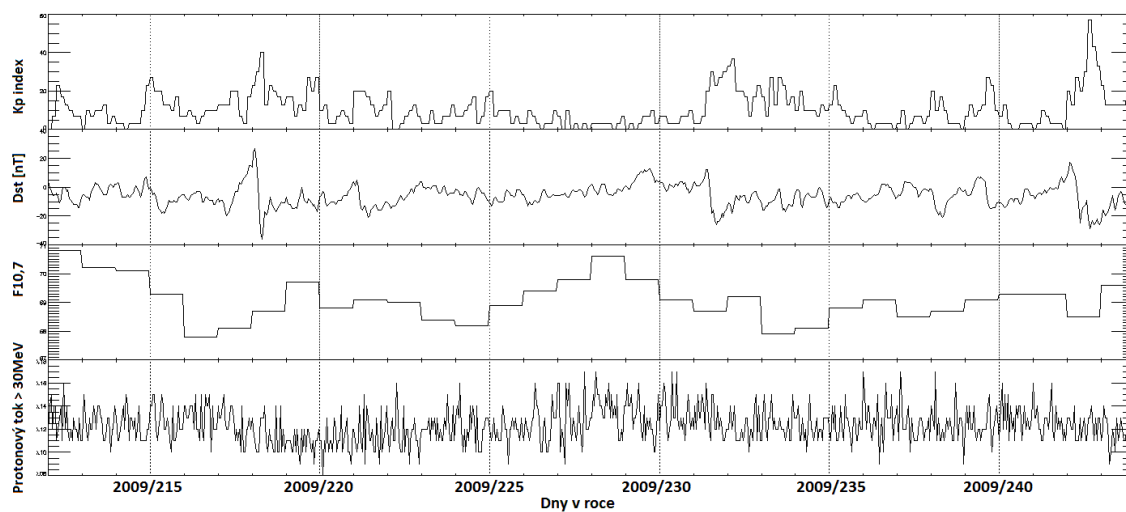


Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 72 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 21.7.2008–20.8.2008**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 73 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), období 21.7.2008 – 20.8.2008****Zdroj:** Vlastní výpočet.

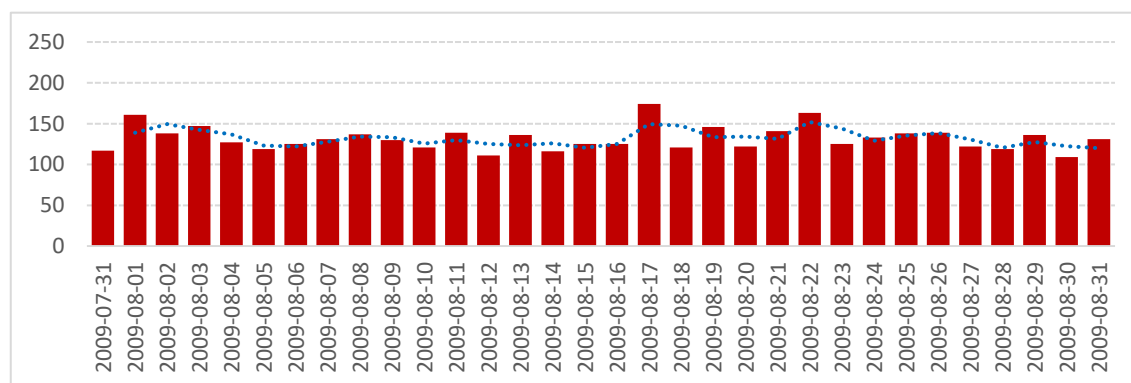
6.7.3 Období nízké sluneční aktivity 31. 7. 2009 – 31. 8. 2009

Obrázek 74 – Geomagnetické indexy, $F10,7$ a protonový tok > 30 MeV - 31.7.2009–31.8.2009

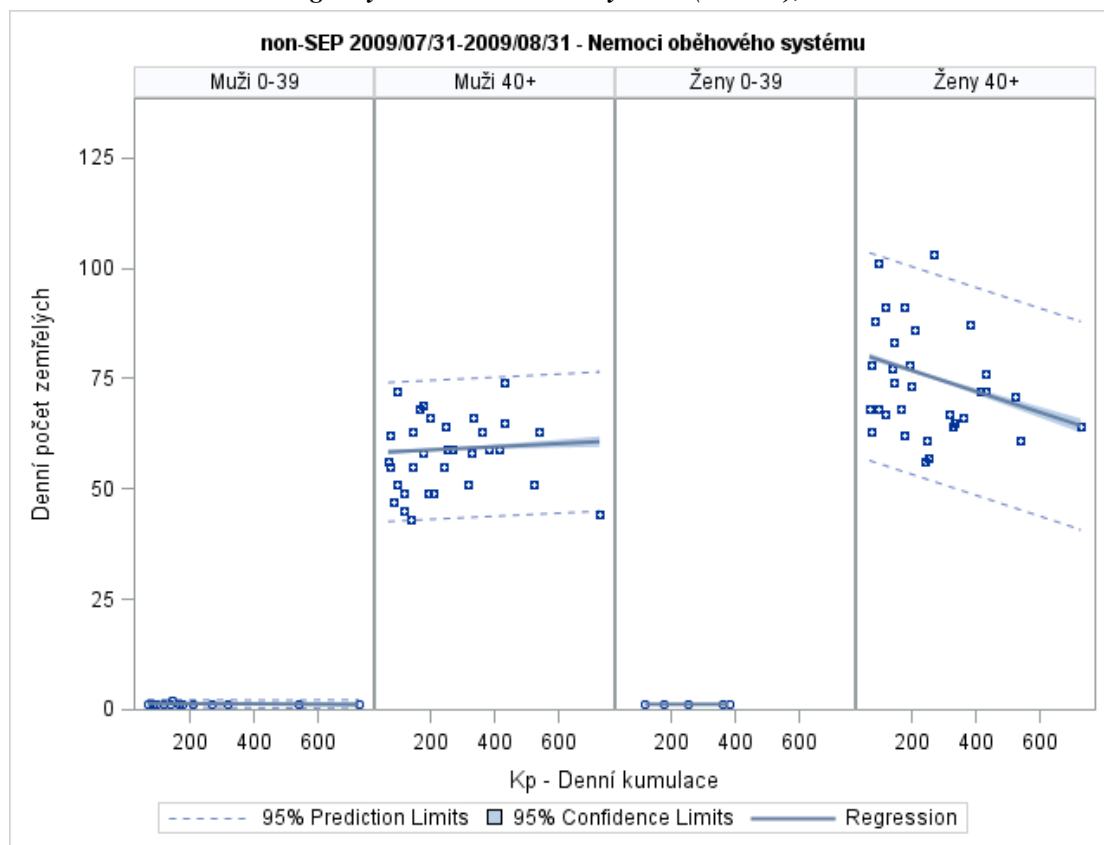
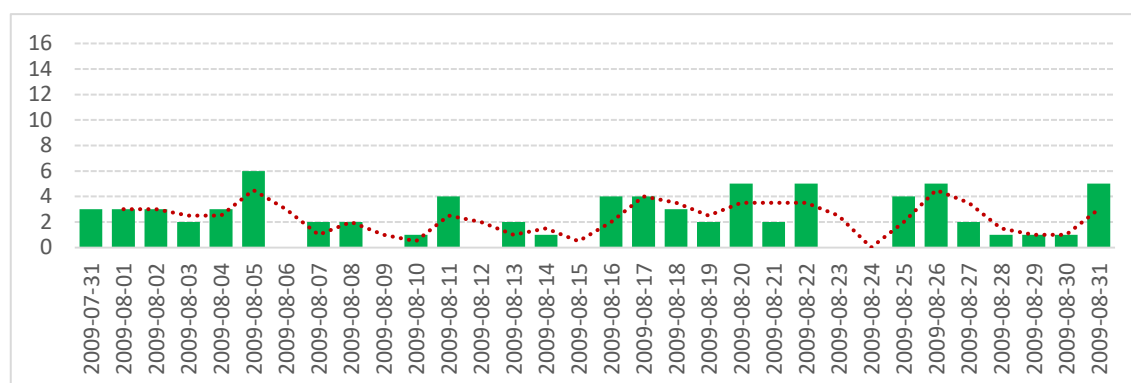


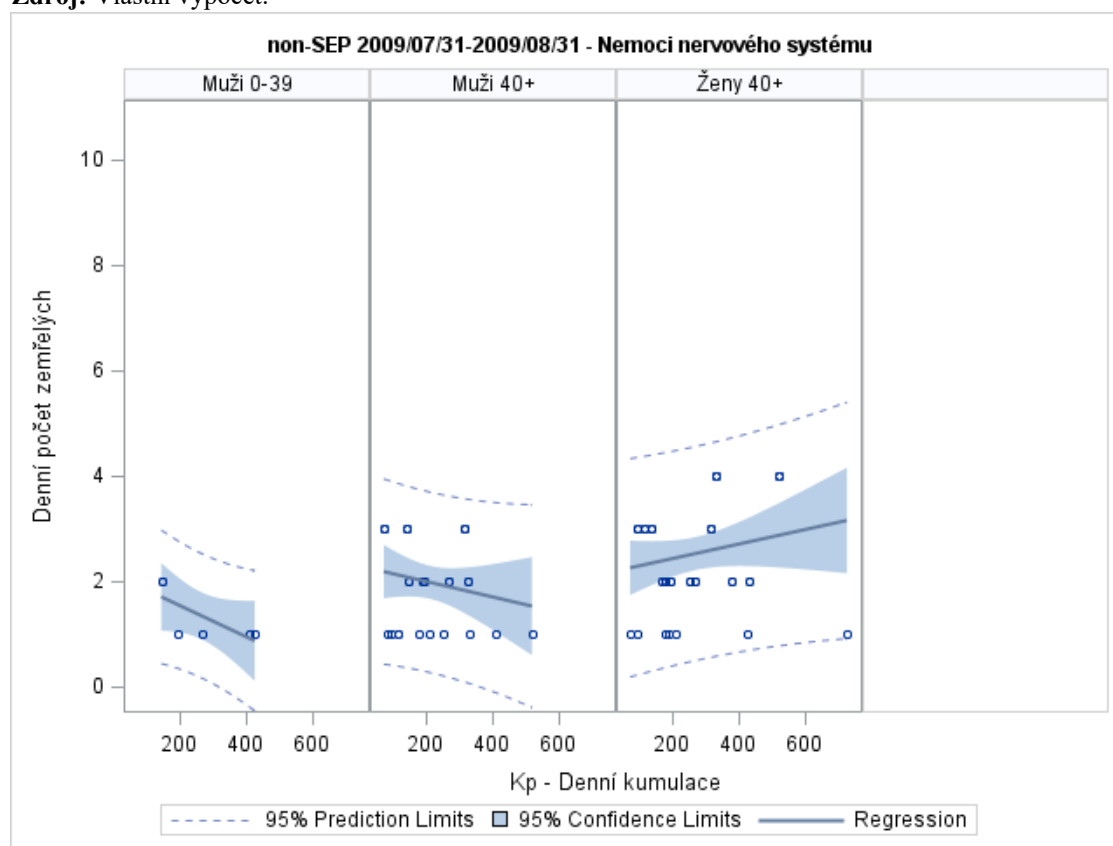
Zdroj: Upraveno podle OMNI web.

Obrázek 75 – Denní počty zemřelých na nemoci oběhového systému (I00–I99), období 31.7.2009–31.8.2009



Zdroj: Vlastní výpočet.

Obrázek 76 – Korelační diagramy nemoci oběhového systému (I00-I99), období 31.7.2009 – 31.8.2009**Zdroj:** Vlastní výpočet.**Obrázek 77 – Denní počty zemřelých na nemoci nervového systému (G00–G99), období 31.7.2009–31.8.2009****Zdroj:** Vlastní výpočet.

Obrázek 78 – Korelační diagramy nemoci nervového systému (G00-G99), období 31.7.2009 – 31.8.2009**Zdroj:** Vlastní výpočet.

6.8 Shrnutí výsledků

V analýzách popsaných v této kapitole lze u všech sledovaných slunečních bouří sledovat, že denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) podle věku a pohlaví mají odlišné statistické charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři. Stejně charakteristiky jako v obdobích před sluneční bouří jsou identifikovány i během tří období nízké sluneční aktivity. U věkových skupin, ve kterých jsou vzhledem k charakteru onemocnění nízké denní počty zemřelých, nejsou výsledky výpočtu modelů statisticky signifikantní.

V obdobích po výrazných slunečních bouřích je pro denní počty zemřelých na *nemoci oběhového systému* identifikována provázanost s geomagnetickým indexem Kp , slunečním protonovým tokem $PF30$ a slunečním radiovým tokem $F10,7$. U mužů ve věkové skupině nad 40 let došlo po události ke zvýšení korelace se slunečním radiovým tokem $F10,7$ a geomagnetickým indexem Dst . U žen nad 40 let bylo nalezeno zvýšení korelace i pro geomagnetický index Kp .

Výsledky analýzy provedené metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí jsou pro všechny sledované sluneční bouře ve shodě s korelační analýzou. V žádném z výsledných grafických modelů se neobjevují nepodmíněně nezávislé složky ani podvektory vektorů geofyzikálních indexů. Provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity byla nalezena u skupiny *nemoci oběhového systému* v období sluneční bouře 2. 4. 2000 a bouře 28. 10. 2003 (*Halloween Solar Storms*) pro ženy ve věkové skupině nad 40 let, v době sluneční bouře 14. 7. 2000 (*Bastille Day Event*) u mužů ve věkové nad 40 let. To patrně souvisí s denní dobou v České republice, kdy bouře zasáhla Zemi. V době uvedených slunečních bouří je tedy působení složek sluneční a geomagnetické aktivity komplexní.

V období 30 dní před i po bouři 28. 10. 2003 (*Halloween Solar Storms*) byla nalezena podmíněná závislost ve všech sledovaných skupinách podle věku a pohlaví (kromě žen 0-39 let kdy časové řady nevyhověly testu na normalitu) se slunečním protonovým tokem $FP30$. Naopak u silné sluneční bouře 17. 3. 2015 (St. Patrick's Day Event), která zasáhla Zemi v časných ranních hodinách místního času, se podmíněná závislost počtu zemřelých na slunečním protonovém toku $PF30$ projevila jen u dvou sledovaných skupin. Vzhledem k výkyvům sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity i v době před bouří, lze v u této bouře sledovat podmíněnou závislost na Kp indexu naopak právě v této době.

U skupiny *nemoci nervové soustavy* v období 30 dní po sluneční bouři bylo zjištěno pro denní počty zemřelých zvýšení korelace u mužů i žen nad 40 let oproti období před bouří pro geomagnetický index Dst , sluneční radiový tok $F10,7$ a sluneční protonový tok $FP30$.

Výsledky analýzy provedené metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí pro skupinu *nemoci nervové soustavy* ukázaly podmíněnou závislost denního počtu zemřelých v období sluneční bouře 28. 10. 2003 (*Halloween Solar Storms*) pro všechny sledované věkové skupiny na slunečním radiovém toku $F10,7$ a slunečním protonovém toku $PF30$. V době sluneční bouře 14. 7. 2000 (*Bastille Day Event*) byla nalezena u všech věkových skupin kromě mužů ve věkové nad 40 let podmíněná závislost na slunečním protonovém toku $PF30$ v době před bouří. Provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity nebyla

u skupiny nemocí nervové soustavy nalezena během žádného období sledovaných slunečních bouří.

Lze tedy konstatovat změny v provázanosti časových řad denního počtu zemřelých u mužů i žen nad 40 let na nemoci oběhového systému i nemoci nervové soustavy na časových řadách slunečního radiového toku $F10,7$, geomagnetického indexu Kp a slunečního protonového toku $PF30$ mezi sledovanými obdobími před a po sledovaných slunečních bouřích. Tato provázanost je ve shodě s výsledky publikovanými v (Ebrille et al., 2015; Mavromichalaki et al., 2016), kde byl rovněž identifikován vliv geomagnetického pole a byla nalezena souvislost s geomagnetickými parametry (Kp).

Ve sledovaných obdobích nízké sluneční aktivity je u nemocí oběhové soustavy výrazná negativní korelace s geomagnetickými indexy oproti obdobím po sluneční bouři u žen ve věkové skupině nad 40 let dokončeného věku. V těchto obdobích nízké sluneční aktivity nebyla v minimalizovaných grafických modelech u žádné ze sledovaných skupin podle věku, pohlaví a skupiny diagnóz nalezena provázanost denního počtu zemřelých souběžně se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity.

Byl potvrzen předpoklad, že během výrazných slunečních bouří není žádný signifikantní efekt slunečního protonového toku $PF30$ a slunečního radiového toku $F10,7$, pokud ke sluneční bouři došlo během noci místního času v České republice.

Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí denních počtů zemřelých jsou ovlivněny geoeфекtivitou analyzované sluneční bouře a časovým průběhem sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity. Tyto výsledky v obdobích čtyř výraznějších slunečních bouří (bouře ze dne 2. 4. 2000, bouře 14. 7. 2000 *Bastille Day Event*, bouře 28. 10. 2003 *Halloween Solar Storms* a bouře 17. 3. 2015 *St. Patrick's Day Event*) ukazují zřetelnější rozdíl v provázanosti časových řad v porovnání analyzovaných období před a po sluneční bouři než tři sluneční bouře s méně výrazným průběhem (bouře ze dne 7. 1. 1997, bouře ze dne 7. 9. 2005 a bouře ze dne 17. 3. 2013). Tento závěr je v souladu se studiemi, které ukazují, že dopad sluneční aktivity na lidské zdraví je závislý také na intenzitě slunečních událostí vyskytujících se během daného období pozorování (Vencloviene et al., 2013, 2016).

Výsledky této analýzy zohledňují specifické podmínky populace v České republice ve sledovaném období. Odpovídají lokálnímu efektu proběhlých sledovaných slunečních bouří, diferenciálním charakteristikám populace žijící v České republice, úrovni zdravotní péče ve sledovaném období a dalším determinantům zdravotního stavu obyvatelstva. Je tedy možné, že stejný geofyzikální projev může mít v jiné populaci rozdílný efekt.

Kapitola 7

Rizikové charakteristiky podle fyzikálního působení sluneční aktivity

7.1 Obecné lineární regresní modely

Tato kapitola je věnována výsledkům analýzy pro denní časové řady za období let 1994–2013 a jednotlivé diagnózy, které byly v práci analyzovány. K analýze závislosti mezi denními počty zemřelých podle jednotlivých příčin smrti v České republice v celém sledovaném období let 1994–2013 a parametry sluneční a geomagnetické aktivity byla použita metoda obecných lineárních regresních modelů.

Na základě analýzy řad denního počtu zemřelých během výrazných slunečních bouří (kapitola 6) byly sestaveny *rizikové charakteristiky* podle charakteru působení jednotlivých složek sluneční aktivity na pozemské prostředí, včetně denní doby výskytu sluneční bouře. Z takto selektovaných statisticky významných parametrů pro každou ze sledovaných příčin smrti byly pomocí obecného lineárního regresního modelu zkonstruovány rizikové charakteristiky, které vyjadřují dopad různých složek sluneční a geomagnetické aktivity na lidské zdraví ve sledovaném období a zohledňují i délku sezónní insolace²⁸ ve středních zeměpisných šířkách, tedy i na území České republiky. Výpočet je proveden vždy pro dvě věkové skupiny (do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let), pro muže a ženy odděleně. Modely s denními časovými řadami zemřelých na Parkinsonovu nemoc (G20) a Alzheimerovu nemoc (G30) byly vypočteny po časových úsecích (roky 1994–2006, 2007–2010 a 2011–2013) z důvodu diskontinuity časových řad (viz příloha 2) způsobené změnami kódovací praxe.

Obecný lineární regresní model je dán následujícím popisem:

$$Y = b_0 + b_1 Kp + b_2 R + b_3 F10.7 + b_4 Dst + b_5 foF2 + b_6 TEC + e_i, \quad [13]$$

kde Y je závislá proměnná časové řady denních počtů zemřelých na jednotlivou sledovanou příčinu smrti (např. I21, I64, G20, G30, viz příloha 1) podle věkových skupin a pohlaví; vysvětlující proměnné jsou v tomto případě parametry sluneční a geomagnetické aktivity Kp (stupeň narušení geomagnetického pole), R (relativní číslo slunečních skvrn), $F10.7$ (sluneční radiový tok), Dst (Disturbance Storm Time), $foF2$ (kritická frekvence ionosférické vrstvy F2),

²⁸ Insolací se rozumí množství přímého slunečního záření dopadající za jednotku času na jednotku plochy zemského povrchu.

TEC (celkový obsah volných elektronů v ionosféře). Regresní koeficient je zde b_i , e_i je náhodná chyba.

Proměnné byly do modelu začleňovány na hladině významnosti 0,05. Jako testová statistika pro ověření shody modelu s daty byl zvolen adjustovaný koeficient determinance. Adjustovaný koeficient determinance je definován:

$$R_{adj}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad [14]$$

kde $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ a $\hat{y}_i = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_{ij}$ je aproximace pozorování y_i v modelu s odhadnutými parametry b_0, b_1, \dots, b_k . Rezidua $y_i - \hat{y}_i$ jsou odhadem náhodných chyb e_i (Zichová, 2007).

Modely s rizikovými charakteristikami fyzikálního působení sluneční aktivity na pozemské prostředí jsou vypočteny podle následujícího popisu:

$$Y = b_0 + b_1 Rad + b_2 Mag + b_3 Iono + e_i, \quad [15]$$

kde Y je závislá proměnná časové řady denních počtů zemřelých podle věkových skupin a pohlaví (např. I21, I64, G20, G30, viz příloha 1). Vysvětlující proměnné jsou v tomto modelu jednotlivé rizikové charakteristiky. Charakteristika *Rad* zahrnuje vliv radiační složky sluneční aktivity, charakteristika *Mag* zohledňuje vliv změn magnetického pole Země, a charakteristika *Iono* zahrnuje vliv stavu ionosféry. Regresní koeficient je zde b_i a e_i je náhodná chyba. Podrobný popis použitých slunečních a geomagnetických indexů je uveden v kapitole 3.1.

Denní časové řady rizikových charakteristik byly sestaveny s ohledem na to, jak odrážejí změny fyzikálního prostředí vlivem sluneční aktivity, následujícím způsobem:

Pro zohlednění vlivu magnetického pole Země byla do modelu zahrnuta riziková charakteristika *Mag* sestavená podle popisu:

$$Mag = Kp + abs(Dst). \quad [16]$$

kde Kp je stupeň narušení geomagnetického pole, Dst je Disturbance Storm Time.

Vliv stavu ionosféry je v modelu vyjádřen rizikovou charakteristikou *Iono*:

$$Iono = foF2 + TEC. \quad [17]$$

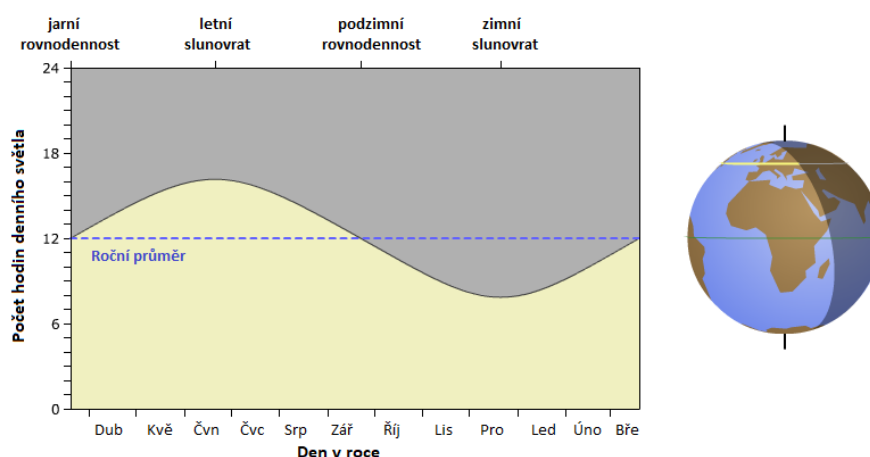
kde $foF2$ je kritická frekvence ionosférické vrstvy F2, *TEC* je celkový obsah volných elektronů v ionosféře.

V charakteristice radiační složky *Rad* je do modelu zahrnuta délka denní insolace (*Insolace*) jako podíl osvitové části dne v hodinách v průměrné zeměpisné šířce České republiky (50°N) dle ročních období:

$$Rad = Insolace * (R + F10,7). \quad [18]$$

kde *Insolace* je podíl denní insolace (podíl osvitové části dne vyjádřený desetinným číslem menším než 1), *R* je relativní číslo slunečních skvrn) a *F10,7* je sluneční radiový tok.

Obrázek 79 – Osvitová situace během roku pro 50° severní šířky



Zdroj: Hvězdářská ročenka 2016, ed. Rozehnal, J., Praha: 2015.

Osvitová situace v zeměpisné šířce České republiky je znázorněna na obrázku 79. Použité délky slunečního dne jsou uvedeny v tabulce 41. V tabulce jsou uvedeny vypočtené průměrné délky osvitových částí dne pro jednotlivé měsíce v roce. Astronomickou nocí se zde rozumí, doba, kdy se střed Slunce na obloze nachází více než 18° pod horizontem a sluneční záření již vůbec nedopadá na místě pozorovatele na zemský povrch. Délka astronomické noci byla stanovena jako doba mezi jejím počátkem a koncem (Rozehnal, 2015). Osvitová část dne byla stanovena jako doplněk astronomické noci do 24 hodin. Rozdíl mezi maximální a minimální délkou osvitové části dne (tedy mezi délkou dne o letním a zimním slunovratu) je 8 hodin. Časová řada s hodnotami podílu osvitové části dne byla podle dne v roce spojena s databází denních hodnot slunečních a geomagnetických parametrů.

Tabulka 41 – Výpočet osvitové délky dne pro měsíce v roce

Konec astronomické noci	Východ Slunce	Západ Slunce	Začátek astronomické noci	Délka noci	Délka astronomické noci	Délka dne	Délka dne v minutách	Osvitová část dne [%]	Střed období
7:45	9:00	16:20	18:15	16:40	13:30	7:20	440,00	30,56	15. ledna
7:10	8:30	18:10	19:10	14:30	13:00	9:30	570,00	39,58	15. února
6:00	7:30	18:40	20:10	12:50	9:50	11:00	660,00	45,83	15. března
5:00	6:40	19:40	21:00	11:00	8:00	13:00	780,00	54,17	15. dubna
3:20	5:30	20:20	22:00	9:10	5:20	14:50	890,00	61,81	15. května
3:00	5:10	20:45	22:40	8:30	4:20	15:30	930,00	64,58	15. června
3:15	5:30	20:30	22:40	9:00	4:30	15:00	900,00	62,50	15. července
4:35	6:05	19:50	21:25	10:15	7:10	13:45	825,00	57,29	15. srpna
5:30	6:50	18:30	20:00	12:20	9:30	11:40	700,00	48,61	15. září
6:25	7:40	17:50	19:10	13:50	11:15	10:10	610,00	42,36	15. října
7:15	8:30	16:50	18:20	15:40	12:55	8:20	500,00	34,72	15. listopadu
7:40	9:15	16:30	18:00	16:45	13:40	7:15	435,00	30,21	15. prosince

Poznámka: Astronomická noc je definována jako doba, kdy se střed Slunce na obloze nachází více než 18° pod horizontem a sluneční záření již vůbec nedopadá na místě pozorovatele na zemský povrch. Osvitová část dne je stanovena jako procentní podíl délky astronomického dne k astronomické noci.

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ASÚ AV ČR.

Pro muže ve věkové skupině do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let jsou výsledky modelu v analyzovaném období let 1994–2013 uvedeny v tabulce 42. Pokud se řádek s diagnózou v tabulce nevyskytuje, nebyl pro tuto diagnózu nalezen model se statisticky významnými geofyzikálními parametry. Pokud geofyzikální parametr nefiguruje ve statisticky signifikantním modelu, není příslušný regresní koeficient v tabulce uveden. Ve sloupci b_0 je uveden absolutní člen modelu, ve sloupcích s názvy slunečních a geofyzikálních parametrů jsou uvedeny odhady parametrů modelu pro sledovanou příčinu smrti a věkovou skupinu zemřelých. Ve sloupci *R-squared* je uveden adjustovaný koeficient determinance (rovnice 14). Ve sloupci *% variability* je uveden podíl variability vysvětlené daným modelem. Barevnou škálou jsou vyznačeny velikosti variability vysvětlené modelem pro jednotlivé příčiny smrti a sledované skupiny podle věku. Tmavší odstíny červené barvy značí vyšší vysvětlený podíl variability a je ve stejném měřítku pro všechny skupiny.

Ve věkové skupině mužů 0-39 let byl modely s geofyzikálními parametry vysvětlen největší podíl variability (do 15 %) u jednotlivých příčin smrti pro plicní embolii (I26), selhání srdce (I50) a intracerebrální krvácení (I61). Ze skupiny nemocí nervové soustavy byl statisticky signifikantní jen model pro epilepsii (G40).

U mužů ve věku 40 a více dokončených let vysvětlují největší podíl variability modely pro akutní infarkt myokardu (I21) 26,1 %, a cévní příhodu mozkovou (I64) 19,99 %. Ze skupiny nemocí nervové soustavy vysvětluje nejvyšší podíl variability model pro jiná degenerativní onemocnění nervové soustavy (G31) 8,27 %.

Pro ženy ve věkové skupině do 39 dokončených let včetně a ve věku 40 a více dokončených let jsou výsledky v analyzovaném období let 1994–2013 uvedeny v tabulce 43. Ve sloupci b_0 je uveden absolutní člen modelu, ve sloupcích s názvy slunečních a geofyzikálních parametrů jsou uvedeny odhady parametrů modelu pro sledovanou příčinu smrti a věkovou skupinu zemřelých. Ve sloupci *R-squared* je uveden adjustovaný koeficient determinance (rovnice 14). Ve sloupci *% variability* je uveden podíl variability vysvětlené daným modelem. Stejně jako v tabulce s výsledky modelů pro muže jsou barevnou škálou vyznačeny velikosti variability vysvětlené modelem pro jednotlivé příčiny smrti a sledované skupiny podle věku. Tmavší odstíny červené barvy značí vyšší vysvětlený podíl variability a je ve stejném měřítku pro všechny skupiny. Ve věkové skupině žen 0-39 let byl modely s geofyzikálními parametry vysvětlen největší podíl variability (do 11 %) u jednotlivých příčin smrti pro plicní embolii (I26) a Epilepsii (G40).

U žen ve věku 40 a více dokončených let vysvětlují největší podíl variability stejně jako u mužů modely pro akutní infarkt myokardu (I21) 20,97 %, a cévní příhodu mozkovou (I64) 25,74 %. Ze skupiny nemocí nervové soustavy vysvětluje pro tuto věkovou skupinu u žen nejvyšší podíl variability model pro roztroušenou sklerózu (G35) 5,11 % a epilepsii (G40) 4,41 %.

Analýza také ukazuje, že ionosférické parametry *foF2* a *TEC* mohou kvůli zeměpisně specifickým hodnotám lépe vysvětlit variabilitu počtu úmrtí než jiné indexy. Je tedy možné, že kardiovaskulární onemocnění tedy reagují na změny sluneční aktivity a výskyt abnormálních slunečních událostí nepřímo prostřednictvím koncentrace elektrického náboje a změn magnetického pole v prostředí, ve kterém žije sledovaná populace.

Tabulka 42 – Výsledky obecného lineárního regresního modelu s parametry sluneční a geomagnetické aktivity, 1994–2013, muži

Muži 0-39										
Příčina smrti dle MKN-10	b_0	R	F10.7	Kp	Dst	foF2	TEC	R-squared	% variability	D_{0-39}^M
I21 Akutní infarkt myokardu	0,96	-0,0014	0,0017					0,0103	1,03	742
I26 Plicní embolie	0,78	-0,0033	0,0032	0,0450	0,0017			0,1448	14,48	231
I50 Selhání srdce	1,49		0,0012	-0,0688	-0,0013	-0,1363	0,0020	0,0837	8,37	462
I61 Intracerebrální krvácení	1,11			-0,0567	-0,0039			0,1152	11,52	222
G40 Epilepsie	1,01		0,0003		0,0011			0,0138	1,38	494
Muži 40+										
Příčina smrti dle MKN-10	b_0	R	F10.7	Kp	Dst	foF2	TEC	R-squared	% variability	D_{40+}^M
I21 Akutní infarkt myokardu	6,10	0,0074	0,0457	0,2522	0,0096	0,8076	-0,0148	0,2610	26,10	100191
I26 Plicní embolie	3,17	-0,0032	0,0044	-0,0332	0,0022	-0,1043		0,0091	0,91	12656
I50 Selhání srdce	5,61	0,0099	-0,0136	-0,0751	0,0023	-0,1714		0,0483	4,83	17412
I61 Intracerebrální krvácení	3,06			-0,0304		-0,1443	0,0030	0,0037	0,37	11881
I63 Mozkový infarkt	4,63	0,0020	-0,0056	-0,1356	-0,0030	-0,0779	0,0009	0,0244	2,44	18701
I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice)	1,71	-0,0013	0,0301	0,4245	0,0080	0,6611	-0,0119	0,1999	19,99	48210
I67 Jiná cévní onemocnění mozku	2,84	-0,0023	0,0143	0,1377	0,0014	0,2721	-0,0051	0,0651	6,51	27504
G20 Parkinsonova nemoc	1,07			0,0497	0,0013		0,0010	0,0350	3,50	1663
G30 Alzheimerova nemoc	1,51	-0,0014	0,0016				-0,0006	0,0047	0,47	3603
G31 Jiné degenerativní nemoci ns	0,90	-0,0012	0,0034	-0,0134			-0,0012	0,0827	8,27	421
G35 Roztroušená skleróza	1,10				0,0010			0,0054	0,54	682
G40 Epilepsie	1,04					0,0583	-0,0010	0,0037	0,37	989

Poznámka: Ve sloupci b_0 je uveden absolutní člen modelu, ve sloupcích s názvy slunečních a geofyzikálních parametrů jsou uvedeny odhady parametrů modelu pro sledovanou příčinu smrti a věkovou skupinu zemřelých. Ve sloupci *R-squared* je uveden adjustovaný koeficient determinance (rovnice 14), ve sloupci D_m je uveden celkový počet zemřelých na uvedenou příčinu smrti v dané skupině. Ve sloupci % variability je uveden podíl variability vysvětlené daným modelem. Tmavší odstíny červené barvy značí vyšší vysvětlený podíl variability, která je ve stejné škále pro všechny skupiny.

Zdroj: Vlastní výpočet, rovnice 13.

Tabulka 43 – Výsledky obecného lineárního regresního modelu s parametry sluneční a geomagnetické aktivity, 1994–2013, ženy

Ženy 0-39										
Příčina smrti dle MKN-10	b_0	R	F10.7	Kp	Dst	foF2	TEC	R-squared	% variability	D_{0-39}^Z
I26 Plicní embolie	0,91					0,0201		0,0415	4,15	185
G40 Epilepsie	1,12	-0,0008	0,0015	0,0143	0,0011	-0,0749	0,0009	0,1074	10,74	248
Ženy 40+										
Příčina smrti dle MKN-10	b_0	R	F10.7	Kp	Dst	foF2	TEC	R-squared	% variability	D_{40+}^Z
I21 Akutní infarkt myokardu	5,14	-0,0032	0,0341	0,3064	0,0122	0,4531	-0,0047	0,2097	20,97	75567
I26 Plicní embolie	4,18	-0,0049	0,0078	-0,0300	0,0034	-0,1501	-0,0020	0,0274	2,74	17789
I50 Selhání srdce	6,33	0,0103	-0,0151	-0,1359	0,0044	-0,2306	0,0012	0,0506	5,06	19057
I61 Intracerebrální krvácení	2,27	-0,0024	0,0016	-0,0548	-0,0022	0,1125	-0,0020	0,0057	0,57	11008
I63 Mozkový infarkt	6,86	0,0026	-0,0077	-0,2165	-0,0030	-0,2901	0,0028	0,0611	6,11	25670
I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice)	2,57	0,0025	0,0474	0,3961	0,0020	1,1151	-0,0201	0,2574	25,74	77292
I67 Jiná cévní onemocnění mozku	2,91	-0,0079	0,0303	0,3112	0,0013	0,7255	-0,0149	0,1116	11,16	47478
G20 Parkinsonova nemoc	0,92			0,0682	0,0018	0,0702	-0,0014	0,0173	1,73	1205
G30 Alzheimerova nemoc	2,22		-0,0013	0,0355				0,0032	0,32	7315
G31 Jiné degenerativní nemoci ns	0,99						0,0004	0,0209	2,09	392
G35 Roztroušená skleróza	1,58		0,0013	0,0294	0,0015	-0,1702	0,0019	0,0511	5,11	1150
G40 Epilepsie	0,88	-0,0022	0,0017	0,0344	0,0020		0,0007	0,0441	4,41	491

Poznámka: Ve sloupci b_0 je uveden absolutní člen modelu, ve sloupcích s názvy slunečních a geofyzikálních parametrů jsou uvedeny odhady parametrů modelu pro sledovanou příčinu smrti a věkovou skupinu zemřelých. Ve sloupci *R-squared* je uveden adjustovaný koeficient determinance (rovnice 14), ve sloupci D_m je uveden celkový počet zemřelých na uvedenou příčinu smrti v dané skupině. Ve sloupci % variability je uveden podíl variability vysvětlené daným modelem. Tmavší odstíny červené barvy značí vyšší vysvětlený podíl variability, která je ve stejné škále pro všechny skupiny.

Zdroj: Vlastní výpočet, rovnice 13.

Modely s rizikovými charakteristikami dle skupin fyzikálního působení sluneční aktivity jsou vypočteny z časových řad denních agregovaných počtů zemřelých a denních časových řad rizikových charakteristik v období let 1994–2013 sestavených z fyzikálních parametrů podle popisu daného rovnicemi 15–18.

Tabulka 44 – Výsledky výpočtu modelů s parametry rizikových charakteristik pro vybrané příčiny smrti v období let 1994 – 2015

Příčina smrti		Riziková charakteristika			rsq	RMSE
		RAD	MAG	IONO		
Muži 0-39						
I21	Akutní infarkt myokardu		0,000253		0,01	0,35
I26	Plicní embolie	-0,000033	0,000146		0,01	0,20
I50	Selhání srdce	0,000024			0,00	0,33
I61	Intracerebrální krvácení			-0,000096	0,00	0,24
G40	Epilepsie		-0,000198		0,01	0,24
Muži 40+						
I21	Akutní infarkt myokardu	-0,001050	0,008802	0,001922	0,03	6,19
I26	Plicní embolie	-0,000236	-0,000291	-0,000283	0,01	1,44
I50	Selhání srdce		-0,001783	-0,001050	0,02	1,99
I61	Intracerebrální krvácení	-0,000075	0,000321		0,00	1,34
I63	Mozkový infarkt	-0,000201	-0,000344	-0,001256	0,02	1,74
I64	Cévní příhoda mozková (mrtvice)	-0,000499	0,005081	0,002163	0,03	3,69
I67	Jiná cévní onemocnění mozku	-0,000168	0,001656	0,003406	0,04	2,30
G20	Parkinsonova nemoc	0,000072	0,000240	0,000427	0,03	0,52
G30	Alzheimerova nemoc		-0,000074		0,00	0,69
G31	Jiné degenerativní nemoci ns	0,000089		-0,000369	0,02	0,23
G35	Roztroušená skleróza	-0,000038			0,00	0,29
G40	Epilepsie	-0,000077		0,000279	0,00	0,41
Ženy 0-39						
I26	Plicní embolie	0,000045			0,05	0,11
I50	Selhání srdce	-0,000049			0,02	0,15
I61	Intracerebrální krvácení	-0,000071	0,000168	0,000282	0,04	0,13
I67	Jiná cévní onemocnění mozku	0,000141	-0,000301		0,10	0,19
G40	Epilepsie		0,000144		0,02	0,13
Ženy 40+						
I21	Akutní infarkt myokardu	-0,001145	0,007201	0,002577	0,03	4,87
I26	Plicní embolie	-0,000356	-0,000298	-0,000959	0,03	1,72
I50	Selhání srdce		-0,001873	-0,001125	0,01	2,27
I61	Intracerebrální krvácení	-0,000287	0,000249	0,000443	0,01	1,30
I63	Mozkový infarkt	-0,000408	-0,000924	-0,001803	0,04	2,02
I64	Cévní příhoda mozková (mrtvice)	-0,000183	0,007806	0,003888	0,04	5,11
I67	Jiná cévní onemocnění mozku	-0,000244	0,003111	0,005127	0,05	3,14
G20	Parkinsonova nemoc		0,000161		0,00	0,43
G30	Alzheimerova nemoc			0,000249	0,00	1,11
G31	Jiné degenerativní nemoci ns		-0,000153		0,01	0,23
G35	Roztroušená skleróza	0,000053	0,000122	-0,000471	0,01	0,43
G40	Epilepsie	-0,000057		0,000471	0,02	0,28

Poznámka: V tabulce jsou k jednotlivým rizikovým charakteristikám uvedeny odhady parametrů modelu pro sledovanou příčinu smrti a skupinu zemřelých, ve sloupci *rsq* je adjustovaný koeficient determinace, ve sloupci *RMSE* je střední kvadratická chyba. Tmavší odstíny červené barvy ve sloupcích s rizikovými charakteristikami značí vyšší hodnotu regresního koeficientu u rizikové charakteristiky, která je ve stejné škále pro všechny skupiny a rizikové charakteristiky.

Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ a databáze geofyzikálních parametrů, rovnice 15.

Statisticky významné modely s rizikovými charakteristikami *Rad*, *Mag* a *Iono* pro jednotlivé příčiny smrti a pro skupiny dle věku a pohlaví jsou shrnuty v tabulce 44 a označeny barevnou škálou podle hodnoty regresního koeficientu u rizikové charakteristiky pro jednotlivé příčiny smrti, pro něž byl model statisticky významný ve skupinách podle věku a pohlaví. Pokud se řádek s diagnózou v tabulce nevyskytuje, nebyla pro tuto diagnózu nalezena žádná statisticky významná charakteristika.

Radiační složka *Rad* je nejvýraznější v modelech pro věkové skupiny 0-39 let u mužů i žen u příčin smrti plicní embolie (I26) a selhání srdce (I50). U žen v této věkové skupině pak ještě u diagnóz intracerebrální krvácení (I61) a jiná cévní onemocnění mozku (I67). U věkových skupin 40+ mužů i žen nemá tato riziková charakteristika výraznější vliv, i když je v modelech začleněna jako statisticky významná.

Riziková charakteristika zohledňující vliv magnetického pole Země *Mag* je nejvýraznější pro akutní infarkt myokardu (I21) u všech sledovaných skupin kromě žen ve věkové skupině 0-39 let. Zde je ovšem může být výsledek ovlivněn nízkými denními počty zemřelých. Pro skupinu mužů ve věku 0-39 let je tato riziková charakteristika výrazná ještě u diagnózy plicní embolie (I26). U žen ve stejné věkové skupině je riziková charakteristika *Mag* výrazná u příčiny smrti epilepsie (G40). Pro věkové skupiny 40+ mužů i žen je riziková charakteristika zohledňující vliv magnetického pole Země *Mag* dominantní u příčin smrti akutní infarkt myokardu (I21), cévní mozková příhoda (I64) a jiná cévní onemocnění mozku (I67).

Vlivu stavu ionosféry zastoupený v modelech rizikovou charakteristikou *Iono* je nejvýraznější u žen ve věkové skupině 0-39 let u diagnózy intracerebrální krvácení (I61). Ve věkové skupině nad 40 let u mužů i žen je tato charakteristika výrazná pro akutní infarkt myokardu (I21), cévní mozková příhoda (I64) a jiná cévní onemocnění mozku (I67), obdobně jako u rizikové charakteristiky *Mag* jen s menším vlivem. U mužů i žen nad 40 let je nalezena také významnost u příčiny smrti epilepsie (G40).

7.2 Shrnutí výsledků

Ve věkové skupině 40+ pro muže i ženy je vysledovatelný vliv radiační, magnetické i ionosférické charakteristiky, s výjimkou onemocnění nervového systému. Výsledky analýzy úmrtnosti na onemocnění oběhového systému u věkových skupin mladších 0-39 let by mohly být ovlivněny nízkým počtem úmrtí na tyto diagnózy.

Výsledek pro nemoci nervového systému pro magnetickou složku je významně diferencován podle věku a pohlaví. Denní počty zemřelých na epilepsii (G40) ve věkové skupině mladší 0-39 let jsou pro obě pohlaví ve většině případů signifikantně ovlivněny. Naproti tomu pro tuto diagnózu jsou věkové skupiny 40+ většinou ovlivněny charakteristikami zohledňujícími vliv radiační složky *Rad* a stav ionosféry *Iono*.

Výsledky jsou v souladu s předpokladem asociace mezi počtem úmrtí na akutní infarkt myokardu (I21) a mozkovou mrtvici (I64) a geomagnetickými indexy.

Výsledky analýzy potvrzují i hypotézu, že mezi samotným geomagnetickým slunečním indexem *Kp* a počtem úmrtí z akutního infarktu myokardu (I21) nebo mozkového mozku (I64) významná asociace. Ta se projeví až u kombinované rizikové charakteristiky *Mag*, která zohledňuje i charakter průběhu geomagnetického indexu *Dst* a jeho výkyvy během dne.

Ionosférické parametry vysvětlují větší část variability počtu úmrtí na akutní infarkt myokardu (I21) nebo mozkovou mrtvici (I64). Analýza ukazuje, že vzhledem k tomu, že hodnoty jsou geograficky specifické, ionosférické parametry mohou popisovat variabilitu počtu úmrtí z kardiovaskulárních příčin lépe než ostatní indexy sluneční aktivity (Podolská, 2018). Kardiovaskulární onemocnění tak zřejmě reagují na změny sluneční aktivity a na abnormální sluneční události nepřímo prostřednictvím koncentrace elektrických nábojů v prostředí Země.

Kapitola 8

Závěr

Cílem této disertační práce bylo analyzovat vliv extraterestrických jevů v širším spektru jejich možného působení na lidskou populaci. Zaměřila na souvislost úmrtnosti na vybrané příčiny smrti z tříd příčin smrti 10. revize Mezinárodní klasifikace nemocí (MKN-10) VI. nemoci nervové soustavy a IX. nemoci oběhového systému v České republice v období let 1994–2013 se změnami v úrovni sluneční aktivity a jejími výjimečnými výkyvy. Zabývala se rovněž dopadem změn klimatu indukovaných kolísáním sluneční aktivity na lidskou populaci i vlivem koncentrace kosmogenních radionuklidů na lidské zdraví.

Hlavním cílem práce bylo zjištění asociace denních počtů zemřelých podle jednotlivých příčin smrti v členění podle pohlaví a věkových skupin v České republice s globálními i geograficky specifickými denními hodnotami slunečních, ionosférických a geomagnetických parametrů použitím metod statistické analýzy mnohorozměrných dat. Zkoumány byly vlivy dlouhodobé v období let 1994–2013 i vliv jednotlivých slunečních bouří srovnávající období 30 dní před a po výjimečné sluneční bouři. Sledován byl vliv sluneční aktivity na změny v počtu zemřelých během dvou cyklů sluneční aktivity (č. 23 a č. 24). V době vyšší sluneční aktivity byl zjištěn vliv změn magnetického pole Země zejména na nemoci ze skupin nemocí oběhového systému.

Na základě výpočtů metodou *obecných lineárních regresních modelů* byly zkonstruovány charakteristiky vystihující dopad sluneční aktivity na lidské zdraví ve sledovaném období let 1994–2013. Ve věkové skupině mužů 0-39 let byl modely s geofyzikálními parametry vysvětlen největší podíl variability (do 15 %) u jednotlivých příčin smrti pro plicní embolii (I26), selhání srdce (I50) a intracerebrální krvácení (I61). Ze skupiny nemocí nervové soustavy byl statisticky signifikantní jen model pro epilepsii (G40). U mužů ve věku 40 a více dokončených let vysvětlují největší podíl variability modely pro akutní infarkt myokardu (I21) 26,1 %, a cévní příhodu mozkovou (I64) 19,99 %. Ze skupiny nemocí nervové soustavy vysvětluje nejvyšší podíl variability model pro jiná degenerativní onemocnění nervové soustavy (G31) 8,27 %.

Ve věkové skupině žen 0-39 let byl modely s geofyzikálními parametry vysvětlen největší podíl variability (do 11 %) u jednotlivých příčin smrti pro plicní embolii (I26) a Epilepsii (G40). U žen ve věku 40 a více dokončených let vysvětlují největší podíl variability stejně jako u mužů modely pro akutní infarkt myokardu (I21) 20,97 %, a cévní příhodu mozkovou (I64) 25,74 %. Ze

skupiny nemocí nervové soustavy vysvětluje pro tuto věkovou skupinu u žen nejvyšší podíl variability model pro roztroušenou sklerózu (G35) 5,11 % a epilepsii (G40) 4,41 %.

Analýza také ukazuje, že ionosférické parametry foF2 a TEC mohou kvůli zeměpisně specifickým hodnotám lépe vysvětlit variabilitu počtu úmrtí než jiné indexy. Je tedy možné, že kardiovaskulární onemocnění tedy reagují na změny sluneční aktivity a výskyt abnormálních slunečních událostí nepřímo prostřednictvím koncentrace elektrického náboje a změn magnetického pole v prostředí, ve kterém žije sledovaná populace (Podolská, 2018).

Tyto výsledky jsou v souladu s prací Elisy Ebrille aj. (2015). Dopad narušení geomagnetického pole je závislý také na okamžité polaritě magnetického pole Slunce (Mavromichalaki et al., 2016) a mění se podle fáze a průběhu slunečního cyklu.

Dalším cílem této disertační práce byla analýza řad denních počtů zemřelých na nemoci nervové soustavy a nemoci oběhového systému podle pohlaví a věkových skupin v České republice během rychlých změn zemského magnetického pole v období silných slunečních bouří. Analyzováno bylo období sedmi nejvýraznějších slunečních bouří, které se vyskytly v letech 1994–2015. Pro analýzu byla použita metoda *smíšených grafických modelů podmíněných nezávislostí*.

U všech sledovaných slunečních bouří je viditelné, že denní počty zemřelých ve skupinách diagnóz VI. nemoci nervové soustavy (G00-G99) a IX. nemoci oběhového systému (I00-I99) podle věku a pohlaví mají odlišné statistické charakteristiky v období 30 dní před sluneční bouří oproti období 30 dní po sluneční bouři. Obdobné charakteristiky jako v obdobích před sluneční bouří jsou identifikovány i během tří období nízké sluneční aktivity.

Tyto změny jsou za celkovými denními počty zemřelých skryty a jsou identifikovatelné až ve skupinách podle věku a pohlaví. U věkových skupin, ve kterých jsou vzhledem k charakteru onemocnění nízké denní počty zemřelých, nejsou výsledky výpočtu modelů statisticky signifikantní. Dopad je diferencovaný podle skupin příčin smrti a skupin zemřelých podle věku a pohlaví a typologie sluneční bouře.

U skupiny *nemocí oběhového systému* v období sluneční bouře 2. 4. 2000 a bouře 28. 10. 2003 (*Halloween Solar Storms*) pro ženy ve věkové skupině nad 40 let, v době sluneční bouře 14. 7. 2000 (*Bastille Day Event*) u mužů ve věkové nad 40 let byla nalezena provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity. V době uvedených slunečních bouří je tedy působení složek sluneční a geomagnetické aktivity v modelu (geomagnetický *Kp* index, sluneční protonový tok *PF30*, sluneční radiový tok *F10,7*) komplexní. U silné sluneční bouře 17. 3. 2015 (*St. Patrick's Day Event*), která zasáhla Zemi v časných ranních hodinách místního času, se podmíněná závislost počtu zemřelých na slunečním protonovém toku *PF30* projevila jen u dvou sledovaných skupin.

U skupiny *nemocí nervové soustavy* v období 30 dní po sluneční bouři je sledováno pro denní počty zemřelých na nemoci nervové soustavy zvýšení korelace u mužů i žen nad 40 let oproti období před bouří pro geomagnetický index *Dst*, sluneční radiový tok *F10,7* a sluneční protonový tok *PF30*. Výsledky analýzy provedené metodou grafických modelů podmíněných nezávislostí pro skupinu nemocí nervové soustavy ukázaly podmíněnou závislost denního počtu zemřelých v období po sluneční bouři 28. 10. 2003 (*Halloween Solar Storms*) pro všechny sledované věkové

skupiny na slunečním radiovém toku $F10,7$ a slunečním protonovém toku $PF30$. V době sluneční bouře 14. 7. 2000 (*Bastille Day Event*) byla nalezena u všech věkových skupin kromě mužů ve věkové nad 40 let podmíněná závislost na slunečním protonovém toku $PF30$ v době před bouří. Provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity nebyla u skupiny nemocí nervové soustavy nalezena během žádného období sledovaných slunečních bouří.

To patrně souvisí s denní dobou v České republice, kdy tyto sluneční bouře zasáhly Zemi. Byl tak potvrzen předpoklad, že během výrazných slunečních bouří není žádný signifikantní efekt slunečního protonového toku $PF30$ a slunečního radiového toku $F10,7$, pokud ke sluneční bouři došlo během noci místního času České republiky.

Ve sledovaných obdobích *nízké sluneční aktivity* je u nemocí oběhové soustavy negativní korelace s geomagnetickými indexy oproti obdobím po sluneční bouři pro ženy ve věkové skupině nad 40 let dokončeného věku. V těchto obdobích nízké sluneční aktivity, na rozdíl od období analyzovaných slunečních bouří, nebyla v minimalizovaných grafických modelech u žádné ze sledovaných skupin podle věku, pohlaví a skupiny diagnóz nalezena provázanost denního počtu zemřelých se všemi indexy sluneční a geomagnetické aktivity.

Z minimalizovaných grafů podmíněných nezávislostí je pro tato období patrná podmíněná závislost pouze ve dvojicích náhodných vektorů reprezentujících časové řady 1($I00$ – $I99$)–2($F10,7$) u nemocí oběhového systému v klidném období 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996 pro obě pohlaví ve věkové skupině nad 40 let, a v klidném období 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008 u mužů nad 40 let. Časové řady denních počtů zemřelých mužů nad 40 let na nemoci nervové soustavy ($G00$ – $G99$) jsou v tomto období podmíněně závislé (provázané) jen u mužů nad 40 let, v klidném období 13. 9. 1996 – 24. 10. 1996 na slunečním radiovém toku ($F10,7$) a Kp indexu, a v klidném období 21. 7. 2008 – 20. 8. 2008 na Kp indexu a slunečním protonovém toku $PF30$, což odpovídá 30 denním obdobím před slunečními bouřemi. V klidném období 31. 7. 2009 – 31. 8. 2009 nebyly nalezeny u žádné z časových řad podmíněné závislosti s počty zemřelých na obě sledované skupiny diagnóz.

Výsledky výpočtu grafických modelů podmíněných nezávislostí denních počtů zemřelých jsou ovlivněny geoeфекtivitou analyzované sluneční bouře a časovým průběhem sledovaných indexů sluneční a geofyzikální aktivity. Výsledky výpočtu grafických modelů v obdobích čtyř výraznějších slunečních bouří (bouře ze dne 2. 4. 2000, bouře 14. 7. 2000 *Bastille Day Event*, bouře 28. 10. 2003 *Halloween Solar Storms* a bouře 17. 3. 2015 *St. Patrick's Day Event*) ukazují zřetelnější rozdíl v provázanosti časových řad v porovnání analyzovaných období před a po sluneční bouři, než tři sluneční bouře s méně výrazným průběhem (bouře ze dne 7. 1. 1997, bouře ze dne 7. 9. 2005 a bouře ze dne 17. 3. 2013). Tyto závěry jsou v souladu s výsledky studií, které ukazují, že dopad sluneční aktivity na lidské zdraví je závislý také na intenzitě slunečních událostí vyskytujících se během daného období pozorování (Vencloviene et al., 2013, 2016).

Výsledky této dizertační práce zohledňují specifické podmínky populace v České republice ve sledovaném období. Odpovídají lokálnímu efektu proběhlých sledovaných slunečních bouří, diferenciálními charakteristikám populace žijící v České republice, úrovni zdravotní péče ve

sledovaném období a dalším determinantům zdravotního stavu obyvatelstva. Je tedy možné, že stejný geofyzikální projev může mít v jiné populaci rozdílný efekt.

V části práce, která se zabývala vlivem Sluncem dotované radiace z přírodního pozadí na lidské zdraví a úmrtnost byly odhadnuty změny v úrovni radiace z přírodního pozadí v období velmi nízké sluneční aktivity a jejich působení na výskyt onkologických onemocnění v populaci České republiky. Expozice obyvatelstva ze zdrojů záření ve zdravotnictví je sice mnohem vyšší než z přírodního pozadí, ale je aplikována pouze na část populace. Naproti tomu dávky přírodního pozadí ovlivňují celou populaci bez výjimky a dlouhodobě. Byly vypočteny odhady pro tři různé výpočetní scénáře dávek radiace z přírodního pozadí (2,71 mSv, 2,85 mSv a 3,3 mSv) podle dlouhodobé úrovně sluneční aktivity. Odhad roční dávky záření ze zdrojů ve zdravotnictví pro Českou republiku je přibližně 0,3 mSv ročně. Tato hodnota byla ovšem stanovena v roce 1996, kdy moderní diagnostické techniky, jako jsou multidetektory CT, atd., ještě nebyly tak široce dostupné.

Zvýšená expozice kosmického záření a koncentrace kosmogenních radionuklidů v období nízké sluneční aktivity zvyšuje celoživotní riziko onemocnění nebo úmrtí na solidní nádory (střev, plic a žaludku) u mužů i žen (Podolská, Rychtaříková, 2017). Atributivní riziko přežití LAR pro incidenci i úmrtnost na novotvar tlustého střeva (C18) indukovaných radiací je u mužů vyšší než u žen. LAR (incidence i úmrtnost) pro zhoubný novotvar žaludku (C16) ve věku 10 let při ozáření mírně vyšší pro ženy, ve věku 30 let při ozáření je srovnatelný pro obě pohlaví. Atributivní riziko přežití LAR pro zhoubný novotvar plic (C34) pro obě věkové skupiny při ozáření je signifikantně vyšší u žen než u mužů. Na základě modelování LAR bylo dokázáno měřitelné zvýšení počtu případů i při malých dávkách jakými jsou změny roční dávky z přírodního pozadí indukované změnami sluneční aktivity.

Odhad celoživotního rizika vyvolaného roční dávkou radiace z přírodního pozadí v období let 2008 – 2040 je signifikantně vyšší pro sluneční cykly č. 24 – 26, kdy se předpokládá nižší sluneční aktivitu než v předchozích obdobích. Pokud by došlo k expozici populace mimořádnou extraterestrickou událostí, odhaduje se zvýšení až o faktor 10. Pro období dlouhodobého slunečního minima, které je predikováno na roky 2020–2040 to bude znamenat, že kosmogenní radionuklidy v našem prostředí budou mít mnohem větší vliv na lidské zdraví, než tomu bylo v minulých desetiletích s vyšší sluneční aktivitou.

V kapitole vysvětlující základní mechanismy působení sluneční aktivity na pozemské prostředí a lidskou populaci jako celek, byly popsány výsledky a metody historické klimatologie ve výzkumu z dochovaných písemných pramenů, geofyzikálních měření i proxy dat. Zásadním způsobem k poznání interakce lidské populace a klimatu přispěla v minulých desetiletích právě historická klimatologie a environmentální historie.

V posledních 150 letech pozorujeme postupné oteplování klimatu připisované lidské industriální činnosti. Jak ukázaly práce citované v předchozím textu (Le Roy Ladurie, 2009), problém je mnohem komplexnější, protože ve 20. století prudce vzrostla sluneční aktivita na hodnoty nezaznamenané v předchozích 1 100 letech. Sluneční aktivita však v posledních 60 letech neroste, a od vysokého slunečního maxima v letech 1958–1959 má sestupný trend.

V současnosti je na nízké úrovni blížící se Daltonovu minimu. Vzájemný poměr příspěvku úrovně sluneční aktivity a zvyšování obsahu CO₂ v atmosféře k jejímu ohřevu není stále zcela jasný. Období dlouhodobých slunečních minim velmi dobře odpovídají malé době ledové a naopak středověké maximum sluneční aktivity odpovídá středověkému klimatickému optimu. V období dlouhodobých slunečních minim převládal typ klimatu charakteristický tvrdými a dlouhými zimami a poměrně chladnými a vlhkými léty. S těmito změnami klimatu bylo v minulosti úzce spjato i šíření nakažlivých chorob (Biraben, 1975). V českých zemích se u vztahu mezi šířením moru a klimatem předpokládá, že období mírných a vlhkých zim a teplá a vlhká léta šíření epidemie podporovaly, zatímco v letech se suchými a horkými léty a tuhými zimami se šíření zastavovalo (Maur, 1989). Tento předpoklad je velmi zajímavý v souladu s analýzou založenou na pozorování klasifikace historických synoptických situací ukazující, že 11-letý sluneční cyklus ovlivňuje ve střední Evropě atmosférické proudění zejména koncem zimy s chladnějšími podmínkami při nízké sluneční aktivitě, a naopak s teplejšími podmínkami při vyšší sluneční aktivitě. Pravděpodobnost velmi studeného proudění je tedy v zimě podle této studie ve střední Evropě statisticky významně vyšší v obdobích nízké sluneční aktivity, než v obdobích vysoké sluneční aktivity (Schwander et al., 2017).

Klimatické modely v minulosti obsahovaly pouze hrubé odhady populačních změn. Nové modely však již zahrnují i projekce počtu obyvatel podle věku, pohlaví a dosaženého vzdělání (Cohen, 1995). Vliv změn klimatu na lidskou populaci je do velké míry dán schopností lidské společnosti na tyto změny reagovat. Snížení emisí je závislé na investicích do nových technologií a změně chování populace. Tyto jsou ovšem opět důsledkem změn sociodemografického složení populace, zejména s ohledem na věk a úroveň vzdělání.

Nejvýznamnější modely vztahů mezi populací a klimatem a metodologii výzkumu těchto vazeb rozpracoval Robert W. Kates (Kates et al., 1985). Důkladně klasifikoval několik modelů jako impaktní a interakční, podle vlivu klimatu na lidskou společnost. V těchto modelech jsou začleněny i antropogenní faktory a zpětnovazebné principy. Za zásadní pro míru a typ dopadu klimatických změn považuje sociokulturní a sociopřírodní podmínky, ve kterých lidská populace žije.

Toto poznání je v souladu i s výsledky obsaženými v této dizertační práci. Přírodní vlivy extraterestrického původu ovlivňují, někdy i zásadně, prostředí ve kterém lidská populace žije, zdravotní stav jednotlivců a mají někdy i závažné důsledky pro celou společnost. Rozvoj vědy a modernizace společnosti ale lidem umožňuje se s těmito dopady vyrovnat, nebo jim dokonce předcházet.

Seznam použité literatury

ACOT, P. 2005. *Historie a změny klimatu: od velkého třesku ke klimatickým katastrofám*. Praha: Karolinum 2005. Vyd. 1., s. 237, ISBN 80-246-0869-3.

AMBLER, Z. 2006. *Základy neurologie*. 6. vydání. Praha: Galén-Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1258-5.

ARCHIBALD, D. C. 2006. *Solar Cycles 24 and 25 and Predicted Climate Response*. Energy and Environment Vol. 17, No. 1, 2006, s. 29–35.

BARD, E. et al. 2007. *Comment on Solar activity during the last 1000 yr inferred from radionuclide records by Muscheler et al.*. Quaternary Science Reviews 26, 2007, s. 2301–2308.

BEER, J. et al. 2012. *Cosmogenic radionuclides. Theory and Applications in the terrestrial and space environments*. Berlin; Heidelberg: Springer 2012. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-14651-0>

BENCKO, V. aj. 2002. *Hygiena*. Praha: Karolinum 2002. s. 126–128.

BIRABEN, J. 1975. *Les hommes et la peste en France et dans les pays méditerranéens*. díl I-II, Paris: Mouton 1975.

BONNET, A.; HERGUETA, T. 2012. *Parkinsonova choroba*. Praha: Portál, 2012. ISBN 978-80-262-0155-7

BORGELT, C.; KRUSE, R. 2002. *Graphical Models: Methods for Data Analysis and Mining*. John Wiley, Chichester 2002.

BRÁZDIL, R. 1994. *Kolísání klimatu za posledních 2000 let*. Meteorologické zprávy, roč. 47, č. 6, Praha: ČHMÚ, 1994, s. 189–190.

BRÁZDIL, R. 2005. *History of Weather and Climate in the Czech Lands VII: Historical and Recent Floods in the Czech Republic. Historické a současné povodně v České republice*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta 2005. 370 s.

BRÁZDIL, R. 2005b. *Historical Climatology in Europe - the State of the Art*. Climatic Change, Vol. 70, No. 3, 2005b, s. 363–430.

BRÁZDIL, R. 2009. *Historical climatology and its contribution to climate reconstruction in Europe*, In Nachhaltige Geschichte, Zurich: Chronos Verlag, 2009, s. 65–89, 25 s.

BRÁZDIL, R., KOTYZA, O. 1995. *History of Weather and Climate in the Czech Lands I. Period 1000–1500*. Zurich: ETH, Zuercher Geographische Schriften 1995. 260 s.

- BRÁZDIL, R., KOTYZA, O. 1999. *History of Weather and Climate in the Czech Lands III. Daily weather records in the Czech Lands in the sixteenth century II*. 1. vyd. Brno: Masaryk University 1999. 228 s.
- BRÁZDIL, R., KOTYZA, O. 2000. *History of Weather and Climate in the Czech Lands IV. Utilisation of Economic Sources for the Study of Climate Fluctuation in the Louny Region in the Fifteenth-Seventeenth Centuries*. 1. vyd. Brno: Masaryk University, 2000. 350 s.
- BRÁZDIL, R.; KOTYZA, O. 2001. *Současná historická klimatologie a možnosti jejího využití v historickém výzkumu*. Časopis Matice moravské ročník 120 - Supplementum 1 (Historie a interdisciplinární výzkum), 2001, s. 17–59.
- BRÁZDIL, R., KOTYZA, O. 2010. *Český pohled na dějiny klimatu*. In Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování, Praha - Litomyšl: Paseka, 2010, 25 s.
- BRÁZDIL, R. et al. 2002. *History of Weather and Climate in the Czech Lands V: Instrumental Meteorological Measurements in Moravia up to the End of the Eighteenth Century*. Brno: Masaryk University 2002, 250 s.
- BRÁZDIL, R. et al. 2004. *History of weather and climate in the Czech lands VI: Strong winds*. Brno: Masaryk University 2004. 378 s.
- BRÁZDIL, R., ČERNUŠÁK, T., ŘEZNÍČKOVÁ, L. 2011. *History of Weather and Climate in the Czech Lands VIII: The Weather and Climate in the Region of Olomouc, Czech Republic, based on Premonstratensian Diaries kept by the Hradisko Monastery and Svatý Kopeček Priory*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita 2011. 272 s. sv. 8, s. 1693 – 1783.
- BRÁZDIL, R. et al. 2012. *History of Weather and Climate in the Czech Lands IX. Temperature and Precipitation Fluctuations in the Czech Lands During the Instrumental Period*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita 2012. 236 s.
- BRÁZDIL, R. et al. 2013. *History of Weather and Climate in the Czech Lands X: Climate of the Sixteenth Century in the Czech Lands*. Brno: Masarykova univerzita 2013. 286 s.
- BRÁZDIL, R. et al. 2014. *Past locust outbreaks in the Czech Lands: do they indicate particular climatic patterns?*. Theoretical and Applied Climatology 116, 2014, s. 343–357.
- BRUTHANS, J. 2009. *Epidemiologie a prognóza cévních mozkových příhod*. Remedia 2009; 19: 128–131
- CARRINGTON R.C. 1859. *Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 20, Issue 1, 11 November 1859, Pages 13–15, <https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.13>
- CÍFKOVÁ, R. et al. 2008 *Současné trendy rizikových faktorů kardiovaskulárních onemocnění v České republice*. Vnitř Lék 2008; 54: 1209.
- COHEN, J. E. 1995. *How Many People Can the Earth Support?*. New York: W.W. Norton. 1995.
- CORNELISSEN, G. aj. 2002. *Non-photic Solar Associations of Heart Rate Variability and Myocardial Infarction*. J. Atm. Solar-Terr. Phys. 64, 2002, s. 707.

ČSÚ. 2015. Počet obyvatel v regionech soudržnosti, krajích a okresech České republiky k 1.1.2015 [online]. [cit. 2016-06-30]. Praha: Český statistický úřad.

ČSÚ. 2015b. Demografická ročenka České republiky 2014. [online]. [cit. 2016-06-30]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/34577716/13006715rg02.xlsx/f90a1dca-94d5-4846-aa62-451cb63d76d3?version=1.1>.

ČSÚ. 2016. Demografická příručka 2015. Praha: Český statistický úřad. Dostupný z: <https://www.czso.cz/csu/czso/demograficka-prirucka-2016>

ČESKO. 2016. Vyhláška č. 422/2016 Sb ze dne 14. prosince 2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sbírka zákonů České republiky. 2016, částka 172, s. 6617-6900. ISSN 1211-1244. Dostupný také z: https://www.epravo.cz/_dataPublic/sbirky/2016/sb0172-2016.pdf.

DORMAN, L.I. et al. 2001. *Cosmic rays as indicator of space weather influence on frequency of infract myocardial, brain strokes, car and train accidents* Proc. 27th ICRC Hamburg 2001, 3511.

DORMAN, L.I. 2005. *Space Weather and Dangerous Phenomena on the Earth: Principles of Great Geomagnetic Storms Forecasting by Online Cosmic Ray Data*. Annales Geophysicae 23, 2997.

EBRILLE, E. et al. 2015. *Correlation of Geomagnetic Activity With Implantable Cardioverter Defibrillator Shocks and Antitachycardia Pacing*, Mayo Clinic Proceedings, Volume 90, Issue 2, February 2015, 202-208.

EDDY, J. A. 1976. The Maunder Minimum. Science, New Series, Vol. 192, No. 4245. (Jun. 18, 1976), s. 1189–1202.

EDWARDS, A. W. F. 1962. Genetics and the human sex ratio. Advances in Genetics, Vol. 11, 1962.

EDWARDS, D. 2000. *Introduction to Graphical Modelling (second edition)*. Springer, New York, 2000.

EUROSTAT. 2015. [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Causes_of_death_statistics/cs.

FRIENDLY, M. 2000. *Visualizing Categorical Data*. SAS Institute, Cary 2000.

FAGAN, B. 2007. *Malá doba ledová, jak klima formovalo dějiny v letech 1300–1850*. Praha: Academia 2007. s. 51–77.

FGR. 1999. Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides. Air and Radiation. September 1999.

FGR. 1994. Estimating Radiogenic Cancer Risks. Air and Radiation. June 1994.

GONZALEZ, B. A. et al. 2012. RadRAT: a radiation risk assessment tool for lifetime cancer risk projection. J Radiol Prot., 2012, 32(3), pp. 205–22. doi: 10.1088/0952-4746/32/3/205.

HEALTH PROTECTION AGENCY. 2011. Risk of solid cancers following radiation exposure: estimates for the UK population. Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation. London: 2011.

GJERLOEV, J. W. 2009. *A Global Ground-Based Magnetometer Initiative*, EOS, 90, 230-231, doi:10.1029/2009EO270002.

GJERLOEV, J. W. 2012. The SuperMAG data processing technique, J. Geophys. Res., 117, A09213, doi:10.1029/2012JA017683.

HEINO, R. et al. 1999. *Progress in study of climatic extremes in northern and central Europe*. Climatic Change, Dordrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 1999, Vol. 42, No. 1–2, s. 151–180.

HERSCHEL, W. 1801. *Observations tending to investigate the nature of the Sun....* Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 91, 265–318.

HORKÝ, K. 2005. Lékařské repetitorium. 2. vydání. Praha: Galén, 2005. ISBN 80-7262-351-6.

HORSKÝ, Z. 1979. Vesmír, Kapitoly z dějin poznávání kosmu, Praha: Mladá fronta, s. 235–390.

HUBA, J. D. et al. 2005. *Global response of the low-latitude to midlatitude ionosphere due to the Bastille Day flare*. Geophysical Research Letters, VOL. 32, L15103, doi:10.1029/2005GL023291.

HŮLKA, J.; MALÁTOVÁ, I. 2006. *Radiační situace v České republice*. [online]. 2006 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf.

CHROBÁK, L. et al. 2007. Propedeutika vnitřního lékařství. 2. vydání. Praha: GRADA Publishing, 243 s. ISBN 978-80-247-1309-0.

CHUM, J. 2004. *Šíření vln v zemské magnetosféře*. Praha, 2004. Dizertační práce (Phd.). České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.

ICRP. 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1–3).

ICRP. 1996. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides (Part 5). Compilation of ingestion and inhalation coefficients. ICRP Publication 72. Annex ICRP 26(1).

ICRP. 2008. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, including Annexes on Quantities used in radiation protection, Biological effects of radiation, and Bases for judging the significance of the effects of radiation. ICRP Publication 103, Annex ICRP 37(2–3).

ICRP. 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.)

JOHNSEN, S. K.; LOHMANN, J. 2005. *The physics and neurobiology of magnetoreception*. Nature Reviews Neuroscience 6, 2005, s.703–712.

JONES, M. . et al. (2014). Impacts of vertically propagation tides on the mean state of the ionosphere-thermosphere system, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 2197–2213, doi: 10.1002/2013JA019744.

JONES, M. et al. 2014. *Tidal-induced net transport effects on the oxygen distribution in the thermosphere*, Geophys. Res. Lett.

JURSA, A.S. et al. 1985. *Handbook of geophysics and the space environment*. Air force geophysics laboratory. Springfield: National Technical Information Service, 1985.

KALITA, Z. et al. 2006. *Akutní cévní mozkové příhody*. Diagnostika, patofyziologie a management. Praha: Maxdorf, 2006.

KANE, R. P. 2006. *Solar cycle predictions based on extrapolation of spectral components: An update*. Solar Physics 246, 2006, s. 487–493.

KAPPENMAN, J. G. 1997. *Geomagnetic Storms Can Threaten Electric Power Grid*. AGU: Earth in Space, Vol. 9, No. 7, March 1997, pp. 9–11.

KATES, R. W. 1985. *The Interaktion of Climate and Society*. In: R. W. Kates, J. H. Ausubel, M. Berberian, Climate Impact Assessment: Studies of the Interaction of Climate and Society. John Wiley, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore 1985, s. 273–291.

KATSAVRIAS, Ch. et al. 2013. *Helio-geomagnetic influence in cardiological cases*, Advances in Space Research, Volume 51, Issue 1, 1 January 2013, 96-106, ISSN 0273-1177, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.07.030>.

KLECZEK, J. 2002. *Velká encyklopedie vesmíru*. Praha: Academia 2002.

KLENER, V. (ed.). 2000. *Principy a praxe radiační ochrany*, Praha: SÚJB, 2000.

KLENER, P., aj. 2006. *Vnitřní lékařství*, 3. vydání, Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-430-X.

KLENER, V. 2008. *Malé dávky záření a riziko rakoviny - mimoterčové účinky v ozářených buněčných populacích*, Vesmír, 58, 2008, s. 189–193.

KUNA, P. aj. 2005. *Klinická radiobiologie*. Praha: Manus 2005. 222 s., ISBN 80-86571-09-2.

KŘIVSKÝ, L.; PEJML, K. 1988. *World list od polar aurorae <55°N and their secular variations*. Travaux géophysiques 1985, Praha: Academia 1988.

LAMB, H. 1965. *The early medieval warm epoch and its sequel*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1: pp. 13–37. 1965. doi:10.1016/0031-0182(65)90004-0.

LAMB, H. 2013. *Climate: Present, Past and Future (Routledge Revivals). Volume 2: Climatic History and the Future*, London: Routledge 2013.

- LAMB, H. 1995. *Climate, history and the modern world* (Second ed.). London: Routledge 1995. ISBN 0-415-12735-1.
- LASTOVICKA, J.; URBAR, J.; KOZUBEK, M. 2017. *Long-term trends in the total electron content*, Geophys. Res. Lett., 44, 8168–8172, doi:10.1002/2017GL075063.
- LE ROY LADURIE, E. 1966. *Les Paysans de Languedoc*. Paříž: SEVPEN 1966.
- LE ROY LADURIE, E. 1967. *Histoire du climat depuis l'an mil*. Paříž: Flammarion 1967.
- LE ROY LADURIE, E. 1975. *Montaillou, village occitan de 1294 à 1324*. Paříž: Gallimard 1975.
- LE ROY LADURIE, E. 2001. *Histoire de France des régions*. 2001.
- LE ROY LADURIE, E. 2004. *Histoire humaine et comparée du climat : Tome 1, Canicules et glaciers XIIIe-XVIIIe siècles*. Paříž: Fayard 2004.
- LE ROY LADURIE, E. 2006. *Histoire humaine et comparée du climat: Tome 2, Disettes et révolutions (1740–1860)*. Paříž: Fayard 2006.
- LE ROY LADURIE, E. 2009. *Histoire humaine et comparée du climat: Tome 3, Le réchauffement de 1860 à nos jours*. Paříž: Fayard 2009.
- LE ROY LADURIE, E. 2013. *Naissance de l'histoire du climat de Emmanuel Le Roy Ladurie*. Paříž: Hermann 2013.
- LE ROY LADURIE, E., ROUSSEAU, D., VAZAK, A. 2011. *Les fluctuations du climat de l'an mil à aujourd'hui*. Paříž: Fayard 2011.
- LUTZ, W.; STRIESSNIG, E. 2015. *Demographic Aspects of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Population Studies 69 (sup1): S69–76. doi:10.1080/00324728.2014.969929.
- MAHER, B. A. et. al. 2016. *Magnetite pollution nanoparticles in the human brain*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 2016, doi:10.1073/pnas.1605941113.
- MATOUŠEK, J.; NEŠETŘIL, J. 2002. *Kapitoly z diskrétní matematiky*, Praha: Karolinum, 2002.
- MAUR, E. 1989. *Příspěvek k demografické problematice před2011.husitských Čech (1346-1419)*. Acta Universitatis Carolinae Philosophica et historica č. 1, Studia Historica 34: Problémy starších českých dějin, 1989 [vyd. 1991], s. 7-72.
- MAVROMICHALAKI, H. et al. 2016. *A study of the possible relation of the cardiac arrhythmias occurrence to the polarity reversal of the solar magnetic field*, Advances in Space Research, Available online 31 August 2016, ISSN 0273-1177, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2016.08.024>.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1982. *Solar Variability, Weather, and Climate*. Washington, D.C.: National Academy Press. p. 7. ISBN 0-309-03284-9

NEVŠÍMALOVÁ, S.; RŮŽIČKA, E.; TICHÝ, J. 2002. *Neurologie. I.* vydání. Praha: Galén, 2002. ISBN 80-7262-160-2.

NEWTON, H. W. 1943. *Solar flares and magnetic storms*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 103, pp. 244–257.

NOAA. 2014. *Space Environment Topics*. 2014. SE-14, Boulder, [online]. [cit. 2014]. Dostupný také z WWW: <<http://sec.noaa.gov>>.

NOVÝ, L. 1961. *Dějiny exaktních věd v českých zemích do konce 19. století*. Praha: Academia, 1961.

NRC (National Research Council of the National Academies). 2006. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation; Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press, 2006. doi:10.17226/11340.

OTSUKA, K. et al. 2000. *Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area*, Biomedicine & Pharmacotherapy, Volume 55, Supplement 1, 11 November 2000, 51–56, ISSN 0753-3322.

OZASA, K. 2012. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950–2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat Res*, 2012, 177(3), pp. 229–43.

PALUŠ, M. 2007. *The solar activity cycle is weakly synchronized with the solar inertial motion*. *Physics Letters A* 365, 2007, s. 421–428, doi: 10.1016/j.physleta.2007.01.039.

PENROSE, R. 2013. *Cykly času*. Praha: Argo/Dokořán 2013. ISBN 978-80-7363-520-6, s. 70–72.

PETERSON, L. E. et al. 2015. Adjustment of lifetime risks of space radiation-induced cancer by the healthy worker effect and cancer misclassification. *Heliyon*, 2015, 22, 1(4):e00048. doi: 10.1016/j.heliyon.2015.e00048.

PFISTER, 2001. *Klimawandel in der Geschichte Europa s. Zur Entwicklung und zum Potenzial der Historischen Klimatologie I*. *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 12, 2, 2001. s. 12.

PFISTER, CH.; BRÁZDIL, R. 2006. *Social vulnerability to climate in the Little Ice Age: an example from Central Europe in the early 1770s*. *Climate of the Past* 2, European Geosciences Union, 2006, s. 115–129.

PHILLIPS, T. 2013. *Van Allen Probes Discover a New Radiation Belt*. Science@NASA. NASA. [cit. 2013-04-05].

PIERCE, D. A.; PRESTON, D. L. 2000. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res*, 2000, 154, pp. 178–186. doi:10.1667/0033-7587(2000)154[0178:RRCRAL]2.0.CO;2 PMID:10931690.

PIGGOTT, W. R.; RAWER, K. 1972. *URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction*. 2nd edition Report UAG-23 World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Washington: 1972.

- PODOLSKÁ, K. 2013. *Vliv změny parametrů termálního plazmatu Země a slunečních indexů na úmrtnost podle příčin v České republice*. Praha, 2013. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- PODOLSKÁ, K. 2014. *Jak sluneční aktivita ovlivňuje Zemi a prostředí pro lidskou populaci*. Historická demografie, 2014, vol. 38/2014, s. 127–155. ISSN 0323-0937.
- PODOLSKÁ, K.; RYCHTAŘÍKOVÁ, J. 2017. *Impact of cosmic-origin background radiation on human survival in the Czech Republic*. Demografie, 2017, vol. 59, s. 131–148.
- PODOLSKÁ, K. 2018. *The Impact of Ionospheric and Geomagnetic Changes on Mortality from Diseases of the Circulatory System*. Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases, 2018, Volume 27, Issue 2, pp. 404–417. ISSN: 1052-3057, doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.017.
- PRESTON, D. L. et al. 2003. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950–1997. Radiat Res, 160, pp. 381–407.
- PRESTON, D. L. et al. 2004. Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates. Radiat Res, 162, pp. 377–389.
- RICHARDSON, D. B. et al. 2013. Missing Doses in the Life Span Study of Japanese Atomic Bomb Survivors. American Journal of Epidemiology. DOI: 10.1093/aje/kws362.
- SASIENI, P. D. et al. 2011. What is the lifetime risk of developing cancer?: the effect of adjusting for multiple primaries. British Journal of Cancer, 105(3), pp. 460–465. <http://doi.org/10.1038/bjc.2011.250>.
- PRONELLO, C.; CAMUSSO, C. 2011. *Travellers' Profiles Definition Using Statistical Multivariate Analysis of Attitudinal Variables*. Journal of Transport Geography 19 (6): 1294–1308. doi:10.1016/j.jtrangeo.2011.06.009.
- REITER, R. 1955. *Bio-meteorologie auf physikalischer basis*. Phys. Blatter Vol. 11, 1955, s. 453.
- SALVADOR, R. J. 2013. *A mathematical model of the sunspot cycle for the past 1000yr*. Pattern Recogn. Phys. 1, 2013, s. 117–122.
- SHEPHERD, S. J. et al. 2014. Prediction of Solar Activity from Solar Background Magnetic Field Variations in Cycles 21–23. Astrophys. J. 795, 46.
- SCHAFER, J. L. 1997. *Analysis of Incomplete Multivariate Data*. Chapman & Hall, London, 1997.
- SCHOVE, D. J. 1955. *The sunspot cycle, 649 B. C. to A. D. 2000*. Journal Geophys. Research 60, 1955, s. 127–147.
- SCHOVE, D. J. 1983. *Sunspot cycles*. Londýn: Hutchinson-Ross 1983.
- SCHWANDER, M. et al. 2017. *Influence of solar variability on the occurrence of central European weather types from 1763 to 2009*. Climate of the Past, 13, s. 1199–1212.

SEIDL, Z.; OBENBERGER, J. 2004. *Neurologie pro studium i praxi*. 2. vydání. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0623-7.

SOLANKI, S. K. 2004. *An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years*. *Nature*, 431, 2004, s. 1084–1087.

SOLANKI, S. K. 2005. *11,000 year sunspot reconstruction*. NOAA Paleoclimatology Program and World Data Centre for Paleoclimatology, 2005, ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/climate_forcing/solar_variability/solanki2004-ssn.txt.

STEINHILBER, F., ABREU, J. A., BEER, J. 2008. Solar modulation during the Holocene. *Astrophys. Space Sci. Trans.* 4, 1–6.

STEINHILBER, F. aj. 2012. *9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings*. *PNAS* 2012, 109 (16), 2012, s. 5967–5971.

STOUPEL, E. 1976. *Forecasting in cardiology*, J. Wiley, New York.

STOUPEL, E.; SHIMSHONI, M. 1991. Hospital cardiovascular deaths and total distribution of deaths in 180 consecutive months with different cosmic physical activity: A correlative study (1974 – 1988). *International Journal of Biometeorology* 35(6).

STOUPEL, E. 2002. The effect of geomagnetic activity on cardiovascular parameters. *Biomed. Pharmacother.* 56, 247.

STOUPEL, E. et al. 2004. Clinical cosmobiology: distribution of deaths during 180 months and cosmophysical activity. The Lithuanian study, 1990–2004. The role of cosmic rays. Study report, Division of Cardiology Rabin Medical Center Tel Aviv University, Tel Aviv.

SÚRO. 2001. *Zpráva o radiační situaci na území České republiky v roce 2001*. Praha: ÚRMS ČR SÚRO.

SÚRO. 2011. *Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou za rok 2011. Část II*. Praha: SÚJB, ÚRMS ČR SÚRO.

SÚRO. 2014. *Zpráva o výsledcích činnosti SÚJB při výkonu státního dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení a radiační ochranou za rok 2014. Část II*. Praha: SÚJB, ÚRMS ČR SÚRO.

TAPPING, K. F. 2013. *The 10.7 cm solar radio flux (F10.7)*, *Space Weather*, 11, 394–406, doi:10.1002/swe.20064.

TRISKOVA, L.; TRUHLIK, V.; PODOLSKA, K. 2011. *Time delays in the correlation between solar activity and the F2 region plasma frequency*, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2011, Volume 73, Issues 5-6, s. 623-626.

TSUJI, Y.A. et al. 2012. *Magnetic latitude and local time distributions of ionospheric currents during a geomagnetic storm*, *J. Geophys. Res.*, 117, A07318, doi:10.1029/2012JA017566.

TSURUTANI, B.T. et al. 2005. *The October 28, 2003 extreme EUV solar flare and resultant extreme ionospheric effects: Comparison to other Halloween events and the Bastille Day event*. Geophysical Research Letters, VOL. 32, L03S09, doi:10.1029/2004GL021475.

UNSCEAR (Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes. Vol.I. Annex B. United Nations sales publication. New York: United Nations.

UNSCEAR (Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes. Vol.II. Annex F. United Nations sales publication. New York: United Nations.

UNSCEAR (Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with scientific annexes. Vol.II. Annex G. United Nations sales publication. New York: United Nations.

USOSKIN, I. G. et al. 2003. *Millenium-scale sunspot number reconstruction: Evidence for an unusually active Sun since the 1940's*. Physical Review Letters 91, No 21.

USOSKIN, I. G. et al. 2007. *Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints*. Astron. Astrophys. 471, 301–309.

USOSKIN, I. G.; KOVALTSOV, G. A. 2008. *Production of cosmogenic ^7Be isotope in the atmosphere: Full 3-D modeling*. Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D12107.

USOSKIN, I. G. et al. 2011. *Solar modulation parameter for cosmic rays since 1936 reconstructed from ground-based neutron monitors and ionization chambers*. J. Geophys. Res., 116, A02104.

USOSKIN, I. G.; KOVALTSOV, G. A. 2012. *Occurrence of extreme solar particle events: assessment from historical proxy data*. The Astrophysical Journal, pp757:92. doi:10.1088/0004-637X/757/1/92.

USOSKIN, G. et al. 2014. *Evidence for distinct modes of solar activity*. Astronomy & Astrophysics, pp doi:10.1051/0004-6361/201423391.

VENCLOVIENE, J. et al. 2013. *The effect of solar–geomagnetic activity during hospital admission on coronary events within 1 year in patients with acute coronary syndromes*, Advances in Space Research, Volume 52, Issue 12, 15 December 2013, 2192-2198, ISSN 0273-1177, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2013.09.025>.

VENCLOVIENE, J. et al. 2016. *The association between space weather conditions and emergency hospital admissions for myocardial infarction during different stages of Solar activity*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Available online 29 September 2016, ISSN 1364-6826, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2016.09.012>.

WANNER, H. et al. 1995. *Wintertime European circulation patterns during the Late Maunder Minimum cooling period (1675–1704)*. Theoretical and Applied Climatology 51, 1995, s. 167–175.

WHITTAKER, J. 1990. *Graphical models in applied multivariate statistics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1990, xiv, 448 s. ISBN 0-471-91750-8.

WIENER, N. 1958. *Nonlinear Problems in Random Theory*. New York: J.Wiley 1958.

WU, Ch. Ch. et al. 2016. *The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: "The St. Patrick's day event (17 March 2015)"*, Earth, Planets and Space, 2016, 68, 1.

ZICHOVÁ, J. 2004 Grafické modely v analýze finančních dat, 2004, ROBUST'2004, JČMF.

ZICHOVÁ, J. 2007. Plánování experimentů a predikční vícerozměrná analýza, Praha:Karolinum, 2007.

Glosář některých geofyzikálních pojmů

Dst index

(Disturbance Storm Time) udává pokles horizontální složky magnetického pole, tento pokles je na zemském povrchu naměřen vzroste-li prstencový proud (tj. částice driftují v magnetosféře v rovině rovníku kolmo k zemským silokřivkám. Driftování je způsobeno zakřivením silokřivek a změnou velikosti magnetického pole se vzdáleností od Země. Výsledný elektrický proud teče od východu k západu.) Popisuje narušení magnetického pole Země. Je měřený geomagnetickými stanicemi rozmístěnými poblíž rovníku. Jednotkou je nT. Hodnoty při silných magnetických bouřích dosahují několika stovek nT a mají záporné znaménko. Dst index se považuje za měřítko velikosti prstencového proudu. Jde o hodinový průměr odchylky horizontální složky pole. Je měřený v blízkosti rovníku pozemními magnetometry. Měření se provádějí v blízkosti rovníku proto, že zde vodorovná složka pole dominuje. Odchylky od normální hodnoty jsou vždy záporné.

EUV záření

extrémní ultrafialové záření s vlnovými délkami nižšími než 31 nm. Podílí se na některých chemických procesech v ionosféře, zejména její nejsvrchnější vrstvy F.

F10,7

radiový tok s vlnovou délkou 10,7 cm, síla a rychlost slunečního větru, aktivita – sluneční skvrny.

foF2

kritická frekvence F2 v ionosféře je maximální frekvence, která se ještě odrazí od dané vrstvy a odpovídá tedy maximální plazmové frekvenci (a tím i maximální koncentraci elektronů) ve vrstvě F2. Typické hodnoty kritických frekvencí jsou v našich zeměpisných šířkách kolem 3,5 MHz pro vrstvu E a 4–12 MHz pro vrstvu F2. Tyto hodnoty jsou závislé zejména na sluneční aktivitě. Kritická frekvence závisí na koncentraci iontů: čím více je vzduch ionizován, tím vyšší je kritická frekvence a tím více radiových vln se od ionosféry odráží. Vzhledem k tomu, že vzduch je ionizován slunečním zářením, mění se kritická frekvence v závislosti na denní i roční době a v závislosti na dalších faktorech.

Geomagnetická bouře

je způsobena podstatným zesílením slunečního větru a jeho magnetického pole. Geomagnetické bouře způsobují poruchy navigace a výpadky elektrické sítě. V oblasti vyšších se přitom šířek jako doprovodný úkaz může objevit polární záře. V důsledku výronů koronální hmoty se ve slunečním plazmatu formují tzv. magnetická oblaka, která se šíří ve slunečním větru a před nimiž se tvoří rázové vlny.

Ionosféra

maximum ionizace dochází ve výškách okolo 250 km v tzv. vrstvě F2 s koncentrací přibližně 1011–1013 iontů/m³. Stupeň ionizace závisí na denní době, ročním období, sluneční a geomagnetické aktivitě. Neutrální složka však v těchto výškách stále převažuje a činí cca 1016 molekul a atomů v m³. Ionosféra se člení do několika vrstev: D, E, F (F1, F2). Spodní vrstvy D, E a F1 jsou výrazné především ve dne. V nižších vrstvách převládají ionizované molekuly (ve vrstvě D se objevují i negativní ionty), ve vrstvě E jsou to zejména pozitivní molekulární ionty O₂⁺, NO⁺. V maximu ionosféry ve vrstvě F2 dominují atomární ionty, zejména O⁺. Vrstva F1, pokud je vyvinutá, tvoří jakýsi přechod mezi molekulovými a atomárními ionty. Teplota částic s výškou roste. Typické teploty se v ionosféře pohybují od 800 K až po téměř 5000 K v závislosti na denní době, sluneční a geomagnetické aktivitě. Nejteplejší jsou elektrony, vznikající při ionizaci, nejchladnější jsou neutrální částice.

Kosmické záření

se skládá ze tří složek: galaktické záření, sluneční záření a záření radiačních (van Allenových) pásů Země. Galaktické záření pochází z hlubokých oblastí vesmíru a skládá se z protonů (85 %), jader helia (11 %), těžších jader prakticky všech prvků soustavy (1 %) a elektronů (3 %). Rozsah energií se pohybuje od 1 MeV do více než 1020 eV.

Kp Index

je odvozen od změny horizontální složky magnetického pole vůči průměrné hodnotě, měřené stanicemi rozmístěnými po celé planetě. Proto bývá někdy též označován jako planetární index. Vyjadřuje také globální míru disipace energie slunečního větru. Jeho hodnota pro celou planetu je stanovena každé tři hodiny v kvazilogaritmické škále (0 - velmi klidné geomagnetické pole, 9 - velmi narušené geomagnetické pole) Má logaritmickou stupnici a je bezrozměrný.

Magnetosféra

oblast, kde magnetické pole Země dominuje nad polem meziplanetárním. V blízkosti Země, ve vnitřní magnetosféře má zhruba charakter neporušeného dipólového pole. Hodnota magnetického pole na rovníku činí cca 3,12.10⁵T. Osa magnetického dipólu je odkloněna od osy zemské rotace cca o 11,5°.

Optické záření

je složeno z 50 % viditelného světla, ze 45 % infračerveného záření a z 5 % ultrafialového (UV) záření. UV záření je elektromagnetické vlnění se stejnou fyzikální povahou jakou má světlo, liší se pouze vlnovou délkou, která je menší než vlnové délky světla.

Plazmapauza

oblast kde dochází k více či méně prudkému poklesu koncentrace iontů. Důvod jejího vzniku spočívá v interakci slunečního větru se zemským magnetickým polem. Od výšek cca 1000 až 2000 km dominují ve složení ionty vodíku H⁺.

Proxy data

nepřímé údaje používané v klimatologii k rekonstrukci klimatických podmínek v době před přístrojovým měřením. Jako klimatická proxy data jsou využívána ledovcová jádra, letokruhy, fosilní pyl, zkušební vrty, korálové vrstvy, mořské a jezerní usazeniny, plynové bubliny uzavřené v permafrostu. Tato data jsou citlivá na jednotlivé metody zjišťování, proto je třeba s nimi pracovat s ohledem na jejich konkrétní typ.

Prstencový proud

elektrický proud v magnetosféře, který je způsobován pohybem protonů v pásích směrem k západu a elektronů směrem k východu.

Přírodní radionuklidy

radionuklidy, které vznikly nebo vznikají výhradně činností přírody.

R relativní číslo slunečních skvrn

někdy se mu též říká Wolfovo číslo. Relativní číslo slunečních skvrn získáme, když vynásobíme deseti počet skupin skvrn na slunečním disku (G) a přičteme počet jednotlivých skvrn (F), a to včetně skvrn ve skupinách. Není-li na Slunci žádná skvrna, je relativní číslo rovno nule. Při velmi vysoké sluneční aktivitě může přesáhnout i 300.

Sluneční erupce

je prudký výbuch ve sluneční atmosféře s energií srovnatelné miliardě megatun TNT, běžně se pohybující okolo 1 milionu kilometrů v hodině (asi 0,1% rychlosti světla) i vyšší.

Sluneční vítr

tvořen převážně elektrony a protony. Z dalších iontů je nejvíce zastoupen dvojnásobně ionizované helium, He^{++} . Sluneční vítr sebou unáší zamrzlé silokřivky magnetického pole Slunce-meziplanetární magnetické pole. Hustota a rychlost slunečního větru závisí na sluneční aktivitě. Fyzikální parametry slunečního větru jsou: hustota $0,4\text{--}100\text{ cm}^3$, rychlost $200\text{--}900\text{ km/s}$, tok $1\text{--}100\text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, podíl iontů helia 0–25 %, velikost magnetického pole $0,2\text{--}50\text{ nT}$, teplota $1\text{--}100\text{ eV}$. Na straně přivrácené ke Slunci je zemské magnetické pole stlačené a sahá do výšek cca 10 zemských poloměrů. Na noční straně Země je protažené v dlouhý chvost sahající do vzdálenosti několika stovek zemských poloměrů.

Sluneční záření

Slunce vyzařuje široké spektrum vlnových délek elektromagnetického záření (gama záření, RTG, UV, viditelné a infračervené záření). Terestrální záření je filtrováno průchodem atmosférou a neobsahuje vlnové délky kratší než 290 nm. Proto na zemský povrch dopadají především tři typy záření. UV záření o vlnových délkách 100–400 nm, viditelné záření o vlnových délkách 400–760 nm a infračervené záření o vlnových délkách 760–3000 nm.

Stratosféra

oblast cca od 15 do 45 km a je pro ni charakteristický zvýšený obsah ozónu. Díky tomu zde dochází k pohlcování bližšího UV záření ze Slunce (200 nm–300 nm), tedy toho rozsahu vlnových délek, který nebyl pohlcen ve vyšších vrstvách (ionosféře). Teplota v důsledku tohoto pohlcování stoupá až k stratopauze.

Troposféra

Je nejnižší vrstvou, sahá do výše cca 12 až 15 km nad rovníkem, nad póly o něco níže. Odehrávají se v ní meteorologické jevy, pro její dynamiku jsou důležité vodní páry a ohřev zemského povrchu. Charakteristický je pokles teploty s výškou až k tropopauze.

Ultrafialové záření (UV)

elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami kratšími než viditelné světlo ve spektrální oblasti (100–400 nm).

Výron koronální hmoty

(coronal mass ejection, zkráceně CME) je uvolnění velkého množství materiálu ze sluneční korony do okolního prostoru. Úzce souvisí se slunečními erupcemi. Vyvržená hmota je ve skupenství plazmatu, skládá se tedy hlavně z protonů a elektronů. Vyvržená koronální hmota je proto zvýšeným tokem slunečního větru. Pokud částice vyvržené do vesmíru při výronu koronální hmoty zasáhnou Zemi, nemálo z nich se zachytí v jejím magnetickém poli.

Výklad pojmů uvedených v Glosáři je upraven z (Jursa et al., 1985; Kleczek, 2002; Chum, 2004).

ZDROJE DAT

ČSÚ. *Počet obyvatel v regionech soudržnosti, krajích a okresech České republiky k 1. 1. 2015* [online]. [cit. 2016-06-30]. Praha: Český statistický úřad.

ČSÚ. *Demografická ročenka České republiky 2014*. [online]. [cit. 2016-06-30]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/34577716/13006715rg02.xlsx/f90a1dc-a-94d5-4846-aa62-451cb63d76d3?version=1.1>.

ČSÚ. *Demografická příručka 2015*. Praha: Český statistický úřad. [cit. 2016-06-30]. Dostupný z: <https://www.czso.cz/csu/czso/demograficka-prirucka-2016>

Eurostat. 2015. [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Causes_of_death_statistics/cs

World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University, Japonsko, [online]. [cit. 2016-04-01]. <<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>>

NASA/Goddard Space Flight Center, OMNIWEB system, USA, [online]. [cit. 2016-04-01]. <<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx4.html>>

NWRA/CoRA, NorthWest Research Associates, Boulder, USA, [online]. [cit. 2016-04-01]. <<http://www.nwra.com/spawx/spawx.html>>

Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Helmholtz-Zentrum, Potsdam, Německo, [online]. [cit. 2016-04-01]. <<ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/home/obs/kp-ap/kp-freq/>>

UK Solar System Data Centre (UKSSDC), Rutherford Appleton Laboratory, Oxfordshire, Velká Británie, [online]. [cit. 2016-04-01]. <<http://www.ukssdc.ac.uk/wdcl1/ionosondes/secure/iono-data.shtml>>

Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR), National Geophysical Data Center, Boulder, USA, [online]. [cit. 2016-05-15]. <<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/dataset.do?view=ionospheri>>

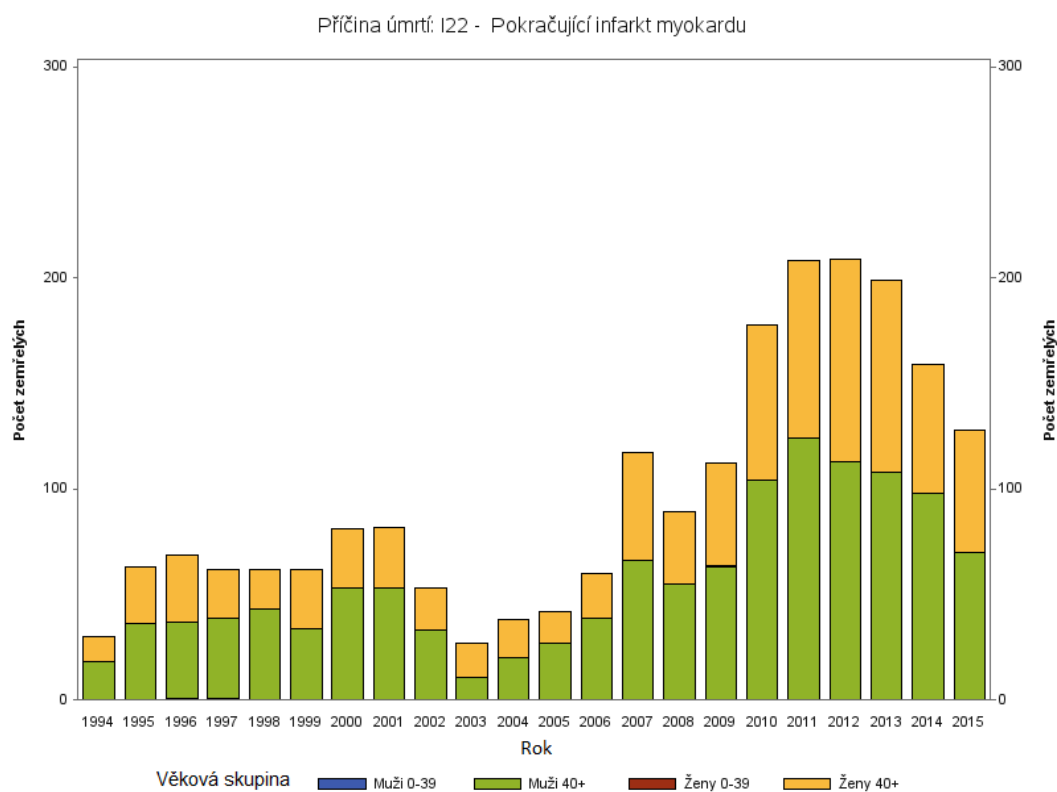
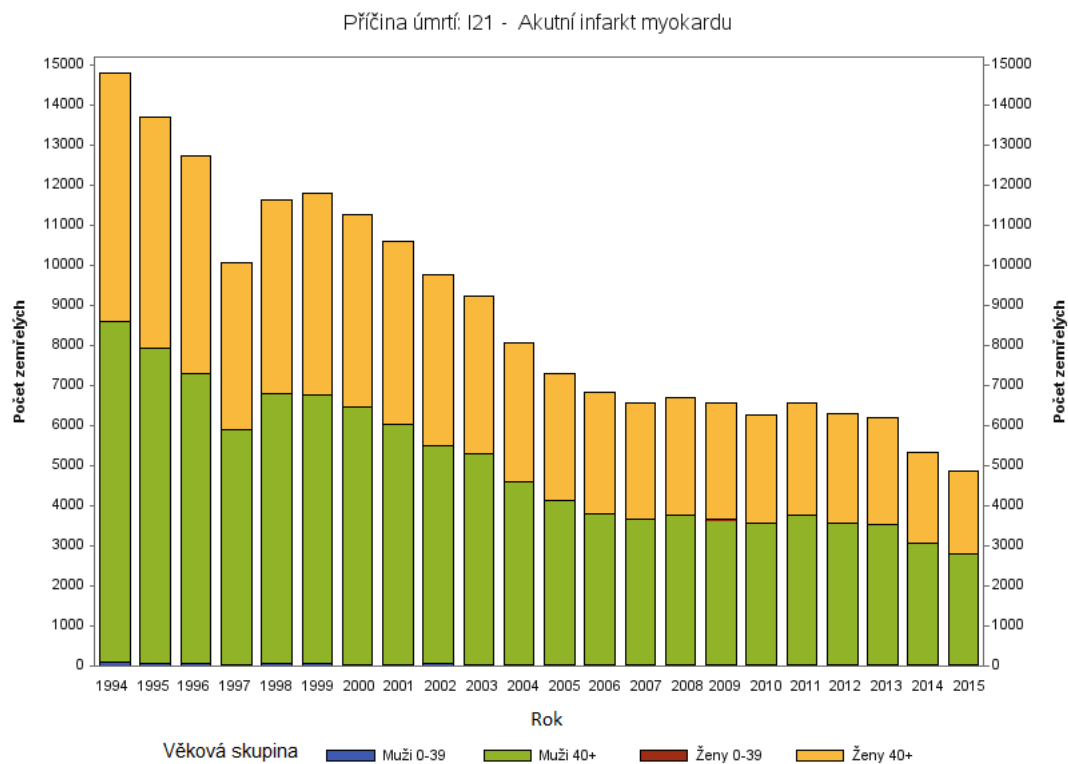
Institut Geographique National (IGN), France, [online]. [cit. 2016-06-30]. <<ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products/ionosphere/>>

PŘÍLOHY

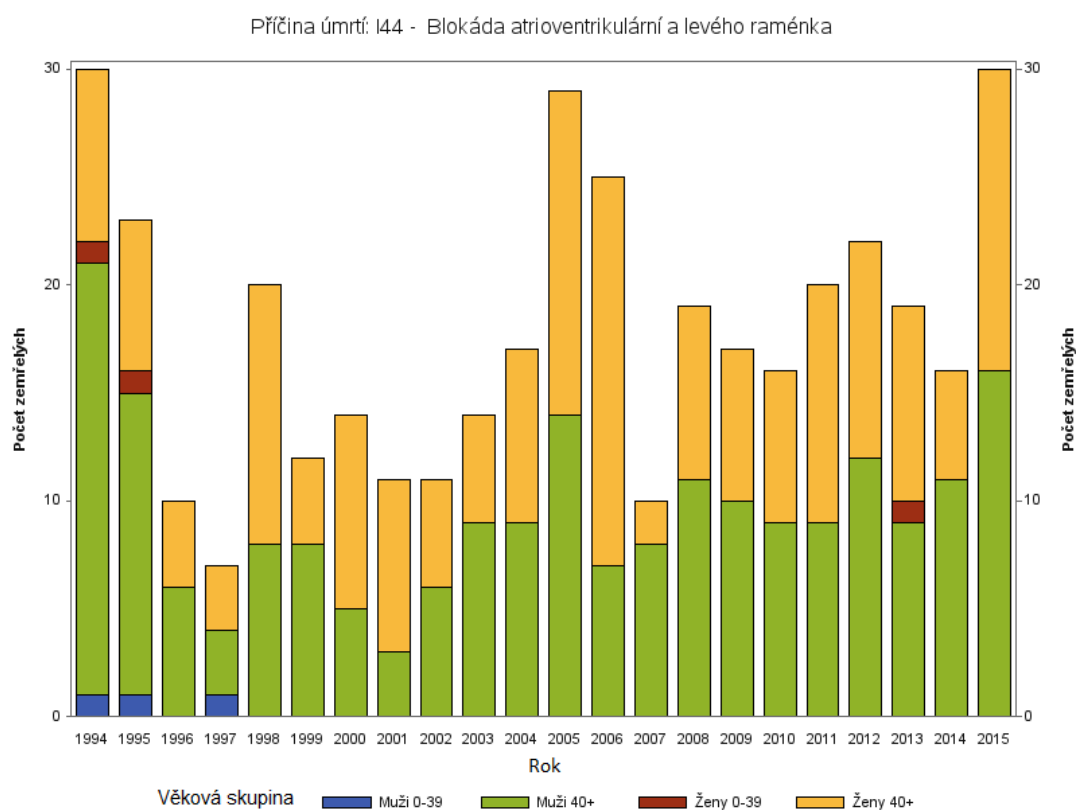
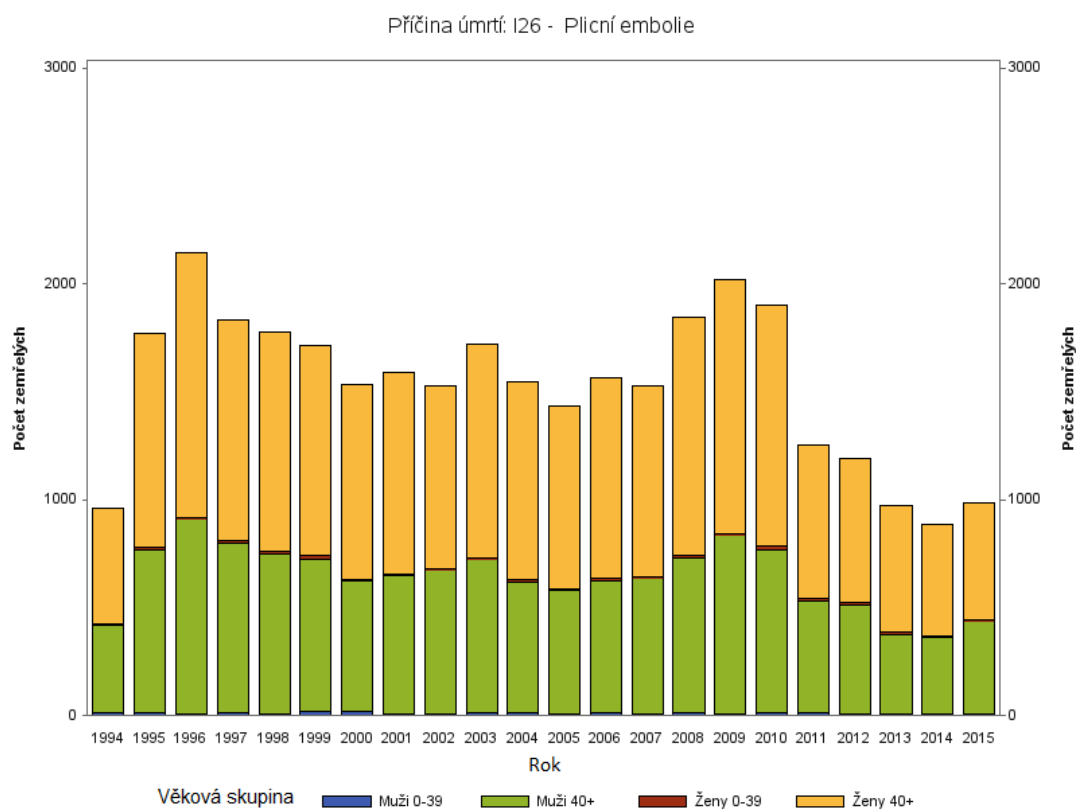
Příloha 1 – Roční počty zemřelých podle vybraných příčin smrti v období let 1994 – 2015

Muži 0-39																								
příčina smrti	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Součet	
I21 Akutní infarkt myokardu	79	64	70	38	50	47	42	41	47	34	30	29	24	30	23	20	23	28	23	18	17	19	796	
I22 Pokračující infarkt myokardu	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
I26 Plicní embolie	12	16	9	16	10	22	18	8	5	12	15	10	12	8	13	8	14	14	9	8	6	9	254	
I44 Blokáda atrioventrikulární	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
I46 Srdeční zástava	2	11	6	4	7	5	9	5	9	13	10	7	8	6	8	14	12	13	13	5	4	8	179	
I48 Fibrilace a flutter síní	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	
I49 Jiné srdeční arytmie	2	2	1	2	3	1	1	0	1	0	3	1	3	2	1	0	2	1	0	2	0	0	28	
I50 Selhání srdce	36	29	32	30	31	25	19	23	20	18	26	27	37	15	15	10	19	25	25	26	19	21	528	
I60 Subarachnoidální krvácení	19	17	12	15	10	9	11	11	14	15	5	8	10	7	11	5	12	10	12	9	15	9	246	
I61 Intracerebrální krvácení	23	27	11	13	12	11	14	12	6	12	15	9	10	10	7	9	5	9	7	13	10	11	256	
I63 Mozkový infarkt	3	6	5	5	4	6	4	3	5	2	3	5	5	3	1	5	3	1	6	4	2	2	83	
I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice)	6	8	5	1	4	4	2	2	3	4	2	2	3	1	1	0	0	2	1	1	1	1	54	
I67 Jiná cévní onemocnění mozku	7	4	4	3	4	5	6	4	3	5	2	3	2	0	0	2	3	3	5	1	0	3	69	
G20 Parkinsonova nemoc	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
G21 Sekundární parkinsonismus	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
G30 Alzheimerova nemoc	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
G31 Jiné degenerativní nemoci ns	3	1	0	1	1	3	2	0	3	4	3	3	3	0	0	1	0	2	3	1	1	1	36	
G35 Roztroušená skleróza	7	3	6	5	3	6	1	1	4	2	2	3	4	1	2	2	0	1	2	5	0	0	60	
G40 Epilepsie	28	26	27	38	37	29	36	26	30	36	23	31	26	17	12	19	16	14	23	25	20	21	560	
G80 Mozková obrna	21	16	11	20	16	13	11	6	14	14	7	14	10	21	16	17	17	23	26	13	17	10	333	
Muži 40+																								
příčina smrti	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Součet	
I21 Akutní infarkt myokardu	8 510	7 848	7 222	5 843	6 749	6 697	6 422	5 980	5 448	5 247	4 561	4 094	3 757	3 641	3 741	3 624	3 541	3 732	3 534	3 501	3 050	2 780	109 522	
I22 Pokračující infarkt myokardu	18	36	36	38	43	34	53	53	33	11	20	27	39	66	55	63	104	124	113	108	98	70	1 242	
I26 Plicní embolie	408	754	900	782	742	705	605	642	667	711	605	571	611	627	720	827	757	520	502	369	361	428	13 814	
I44 Blokáda atrioventrikulární	20	14	6	3	8	8	5	3	6	9	9	14	7	8	11	10	9	9	12	9	11	16	207	
I46 Srdeční zástava	74	142	267	281	269	217	251	227	264	337	319	336	349	325	372	467	528	316	299	197	334	356	6 527	
I48 Fibrilace a flutter síní	7	15	26	16	32	23	39	52	43	50	63	77	97	119	111	112	112	145	183	225	231	298	2 076	
I49 Jiné srdeční arytmie	9	36	53	38	34	55	68	54	50	54	52	62	55	59	69	60	82	46	51	41	59	90	1 177	
I50 Selhání srdce	723	737	919	745	948	837	533	520	610	611	564	998	1 255	751	933	915	784	1 978	2 051	1 428	1 437	1 757	22 034	
I60 Subarachnoidální krvácení	94	84	64	98	73	77	91	86	68	74	73	102	96	85	94	96	79	97	102	102	82	95	1 912	
I61 Intracerebrální krvácení	784	671	736	569	587	573	640	605	616	602	590	635	575	562	623	610	604	619	680	638	646	692	13 857	
I63 Mozkový infarkt	1 055	1 193	1 174	932	914	948	955	790	743	783	772	911	925	1 014	1 024	1 114	1 078	1 155	1 221	1 200	1 160	1 063	22 124	
I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice)	4 004	3 774	3 371	2 924	3 338	3 377	3 226	3 023	3 016	3 076	2 431	2 206	2 029	1 683	1 505	1 492	1 402	1 259	1 074	951	789	863	50 813	
I67 Jiná cévní onemocnění mozku	1 473	1 356	1 227	1 403	1 476	1 556	1 920	1 867	1 860	1 899	1 805	1 791	1 692	1 090	1 106	1 259	1 085	803	836	739	674	692	29 609	
G20 Parkinsonova nemoc	45	29	32	38	49	71	82	117	130	150	132	154	126	70	56	48	65	115	154	171	163	212	2 209	
G21 Sekundární parkinsonismus	0	4	5	5	3	7	3	10	9	11	7	4	7	10	3	2	4	17	26	39	34	32	242	
G30 Alzheimerova nemoc	95	79	63	87	120	147	149	184	190	208	260	262	298	168	209	131	137	370	446	429	496	521	5 049	
G31 Jiné degenerativní nemoci ns	32	21	10	25	20	18	24	25	30	28	19	27	19	18	14	19	7	31	34	31	36	37	525	
G35 Roztroušená skleróza	40	39	31	38	40	33	38	43	36	37	37	32	32	28	24	42	33	41	38	40	39	39	800	
G40 Epilepsie	39	34	58	52	45	45	59	50	60	83	54	65	60	50	47	35	33	45	75	71	79	99	1 238	
G80 Mozková obrna	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	3	3	2	2	6	7	11	6	11	56
Ženy 0-39																								
příčina smrti	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Součet	
I21 Akutní infarkt myokardu	6	15	10	12	7	5	7	7	12	8	6	5	3	4	7	6	2	5	6	5	2	3	143	
I22 Pokračující infarkt myokardu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
I26 Plicní embolie	8	13	9	12	7	16	8	8	10	6	8	7	14	6	10	7	13	12	11	11	5	6	207	
I44 Blokáda atrioventrikulární	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	
I46 Srdeční zástava	1	4	3	5	1	4	5	5	2	7	3	2	4	5	6	4	3	3	7	1	4	1	80	
I48 Fibrilace a flutter síní	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
I49 Jiné srdeční arytmie	1	2	1	1	3	0	0	0	1	0	1	0	0	2	3	0	0	1	2	2	1	2	23	
I50 Selhání srdce	15	20	9	18	24	14	7	10	19	9	10	9	10	2	6	8	5	6	11	7	8	10	237	
I60 Subarachnoidální krvácení	15	7	9	15	17	4	5	10	9	12	11	7	14	8	9	7	3	13	8	4	8	13	208	
I61 Intracerebrální krvácení	16	11	7	8	5	13	6	6	7	7	9	9	5	1	7	2	5	4	3	7	1	3	142	
I63 Mozkový infarkt	3	4	1	5	5	6	6	3	3	2	0	0	0	0	2	2	1	3	4	3	5	1	0	59
I64 Cévní příhoda mozková (mrtvice)	1	3	1	2	4	1	0	2	2	1	2	1	1	2	0	2	0	1	0	0	0	1	27	
I67 Jiná cévní onemocnění mozku	2	6	2	6	7	3	1	1	4	5	3	3	0	0	2	4	2	0	1	0	1	0	53	
G20 Parkinsonova nemoc	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
G21 Sekundární parkinsonismus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
G30 Alzheimerova nemoc	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
G31 Jiné degenerativní nemoci ns	3	4	5	5	1	1	5	2	4	2	2	4	1	0	0	1	0	1	2	1	0	0	44	
G35 Roztroušená skleróza	8	6	4	5	8	5	4	2	6	6	2	6	4	4	2	2	4	3	3	2	4	2	92	
G40 Epilepsie	17	17	20	15	14	10	13	12	13	12	15	16	14	18	16	8	4	8	6	11	13	12	284	
G80 Mozková obrna	22	17	17	13	15	13	13	7	9	8	11	8	7	9	7	8	6	18	7	12	8	10	245	
Ženy 40+																								
příčina smrti	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Součet	
I21 Akutní infarkt myokardu	6 209	5 782	5 426	4 153																				

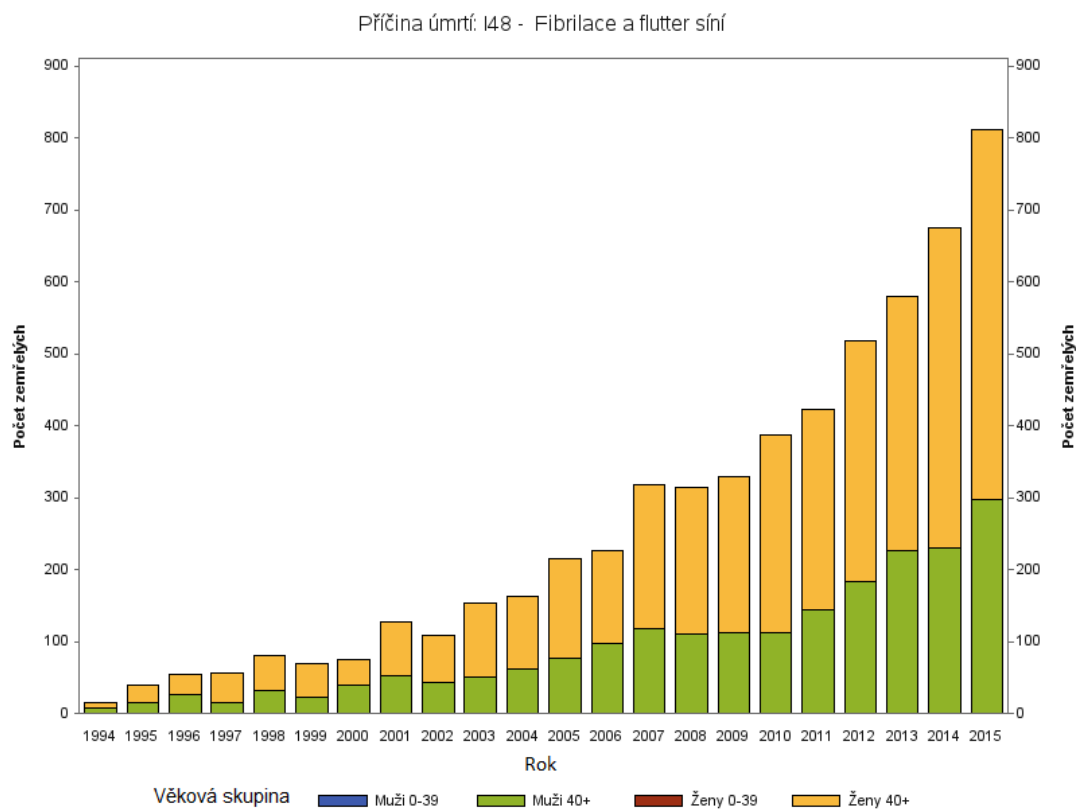
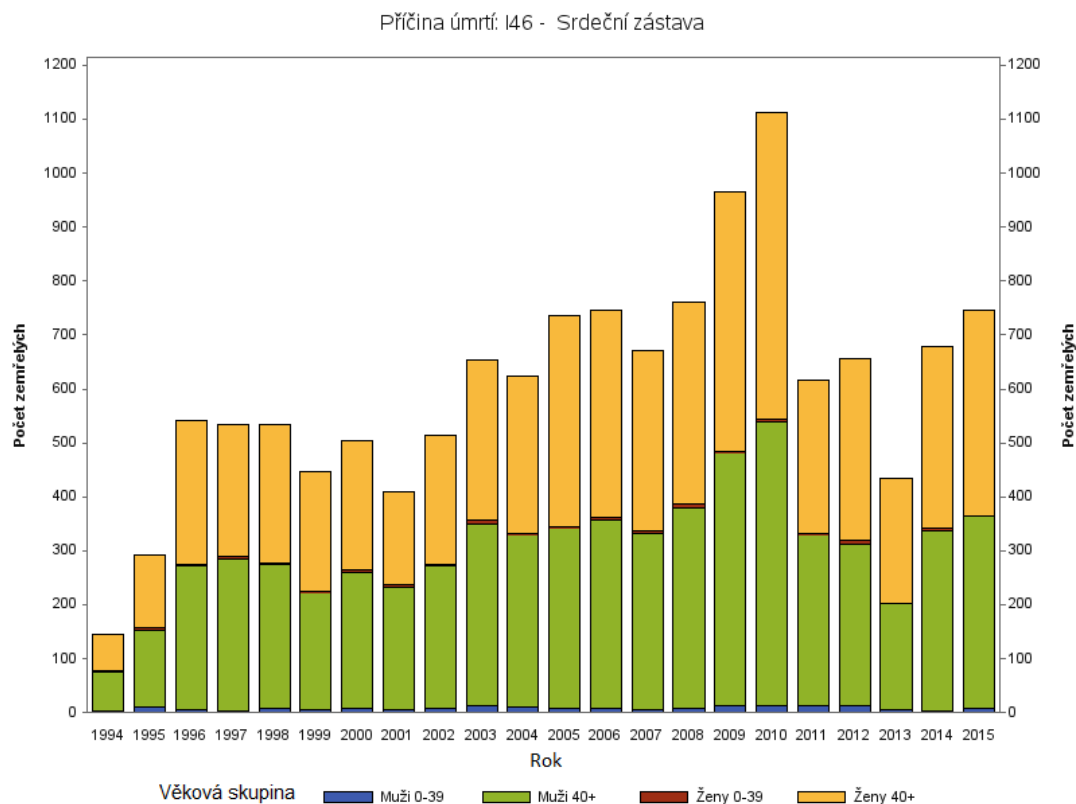
Příloha 2 – Grafy ročních počtů zemřelých podle vybraných příčin smrti v období let 1994 – 2015



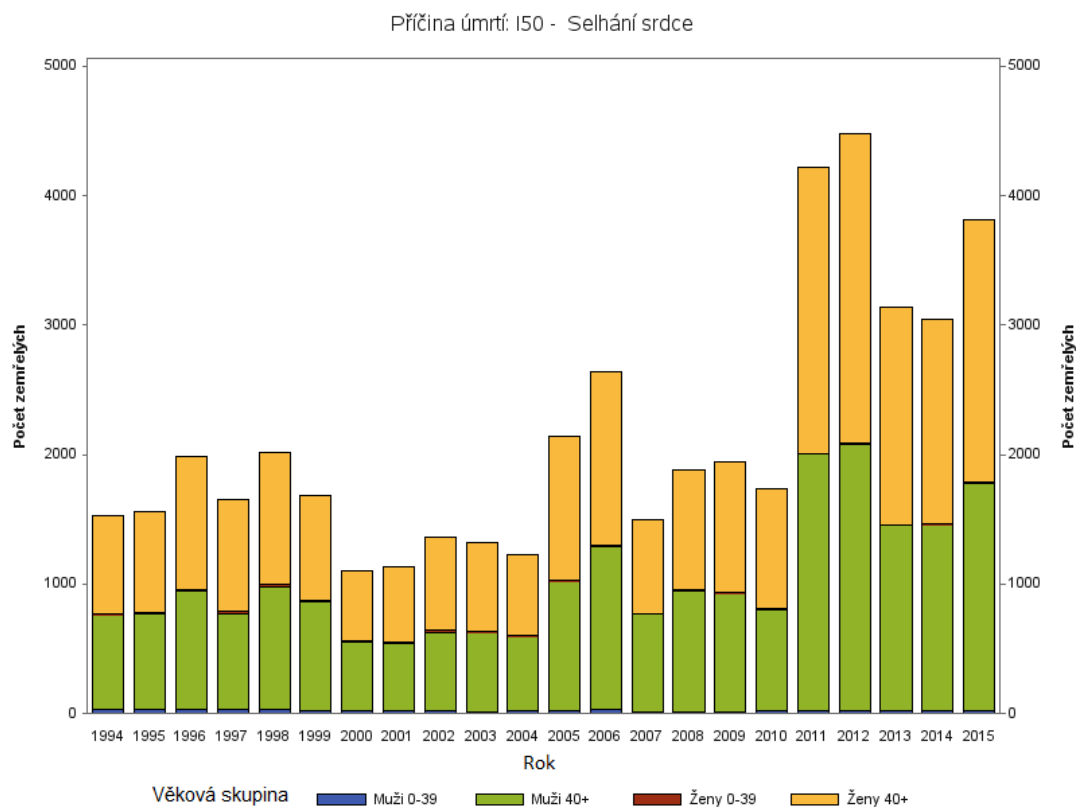
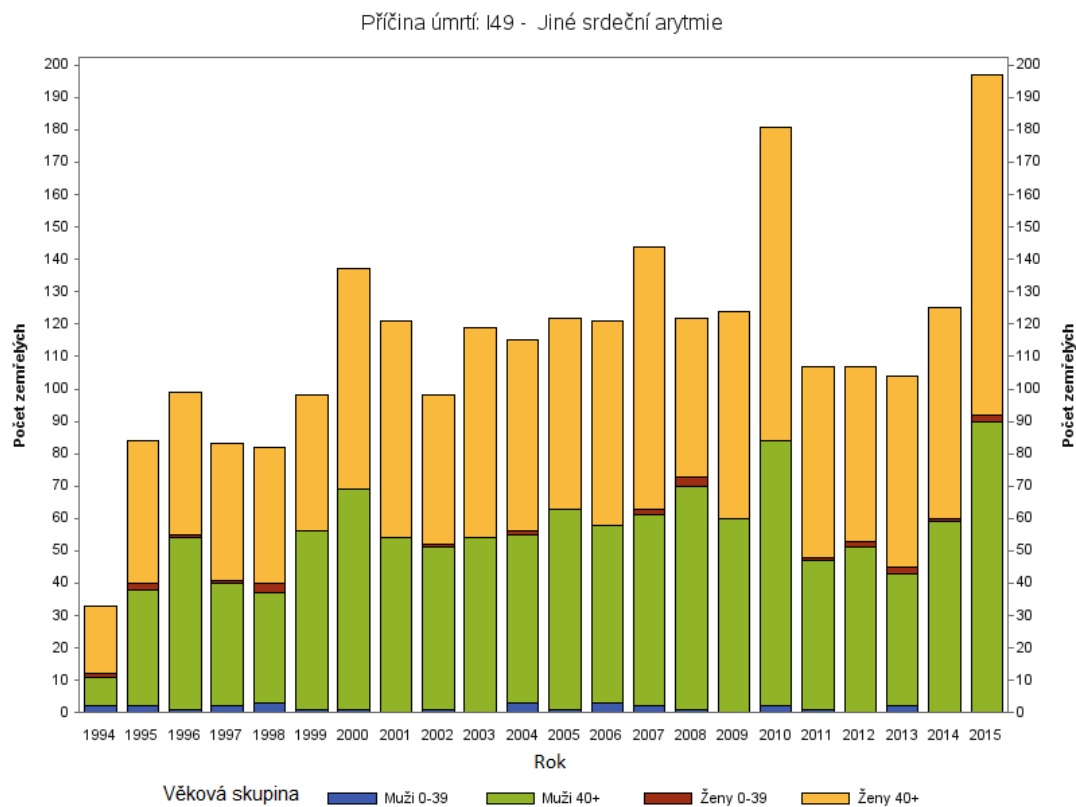
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



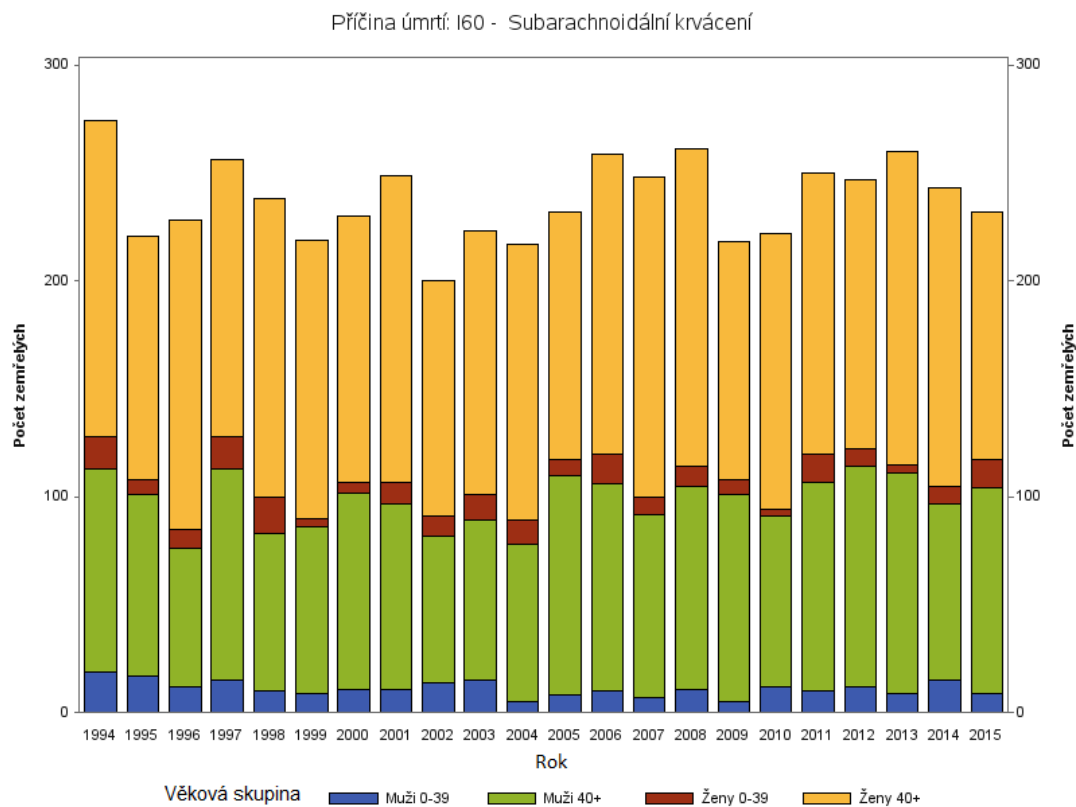
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



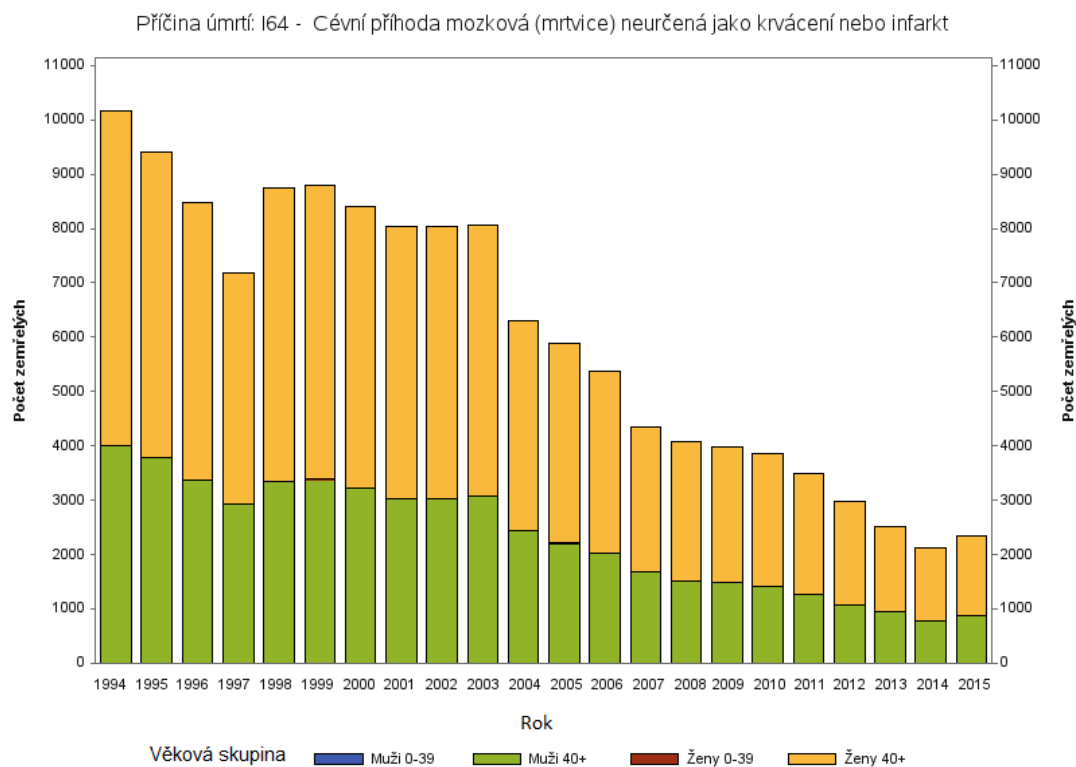
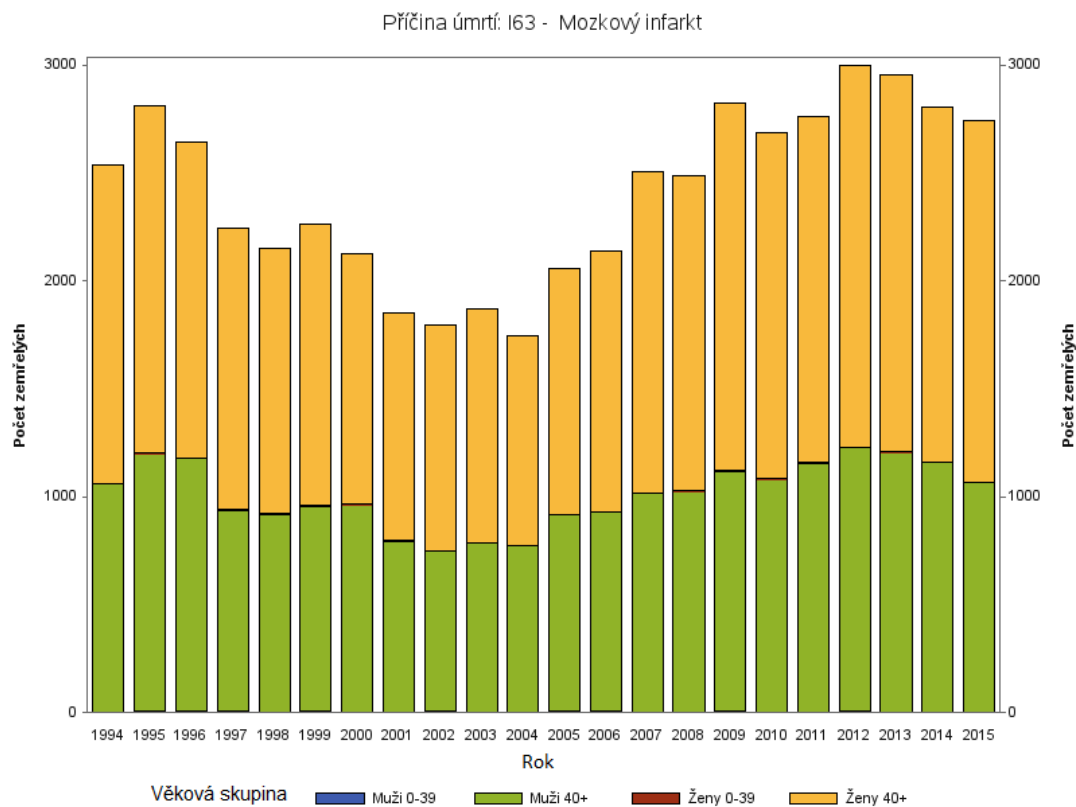
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



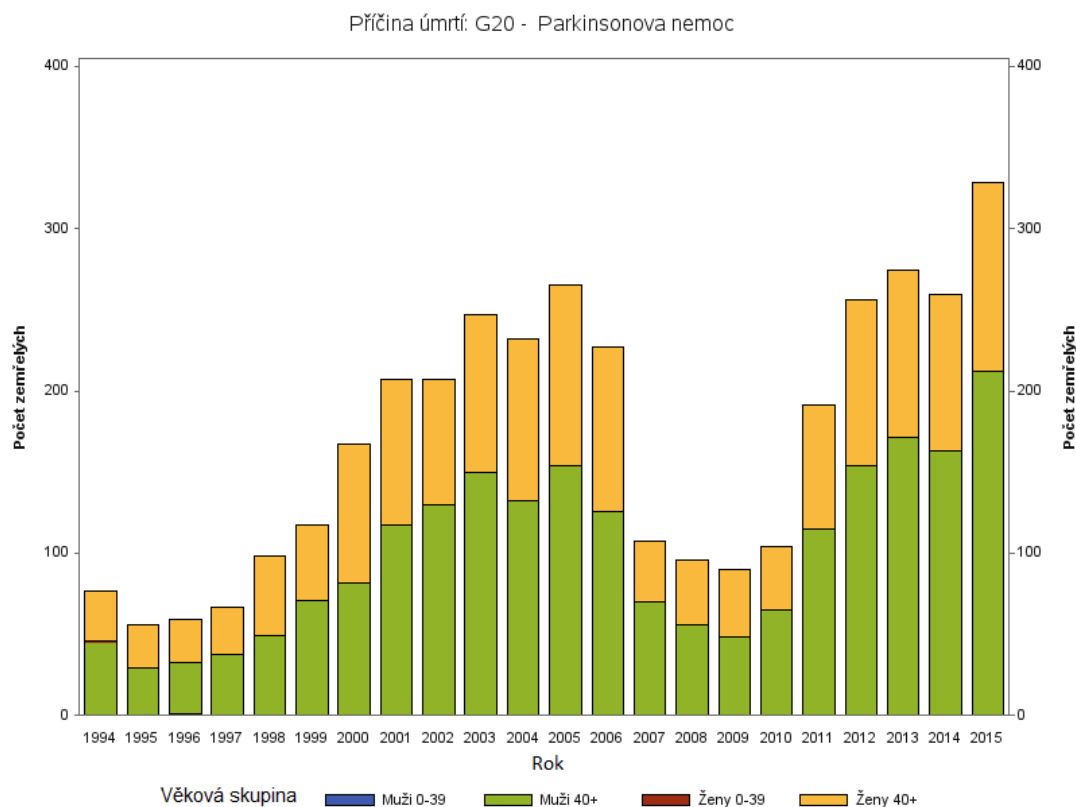
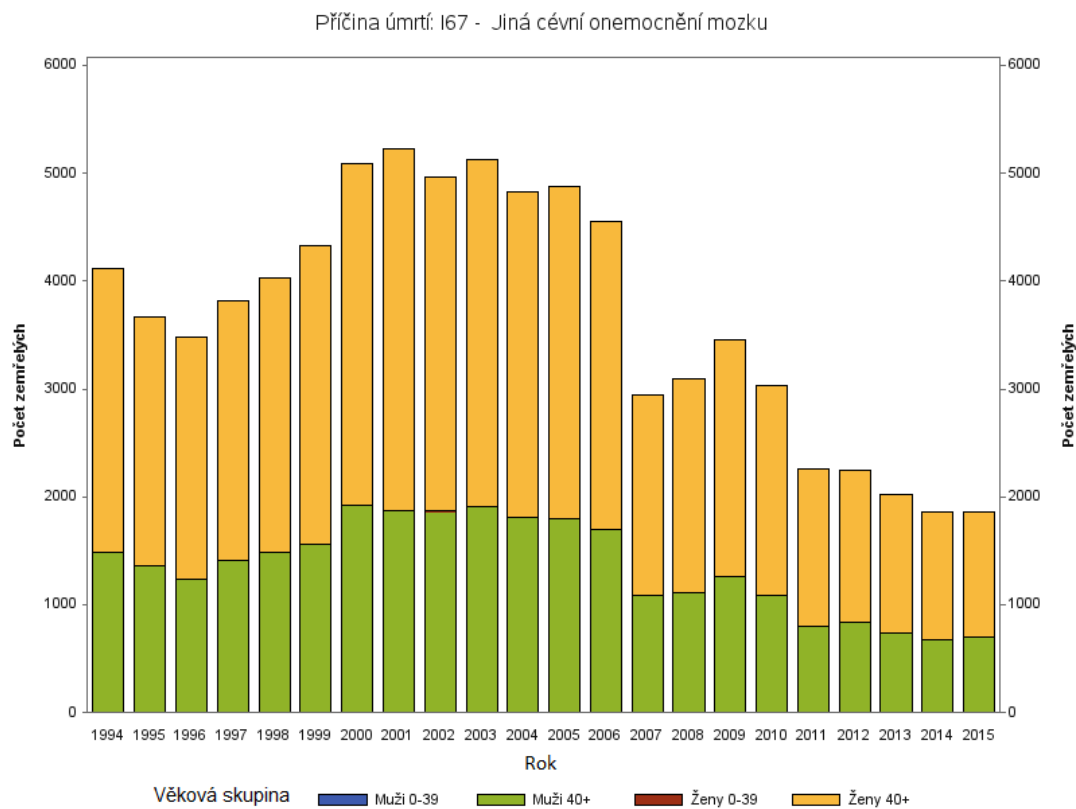
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



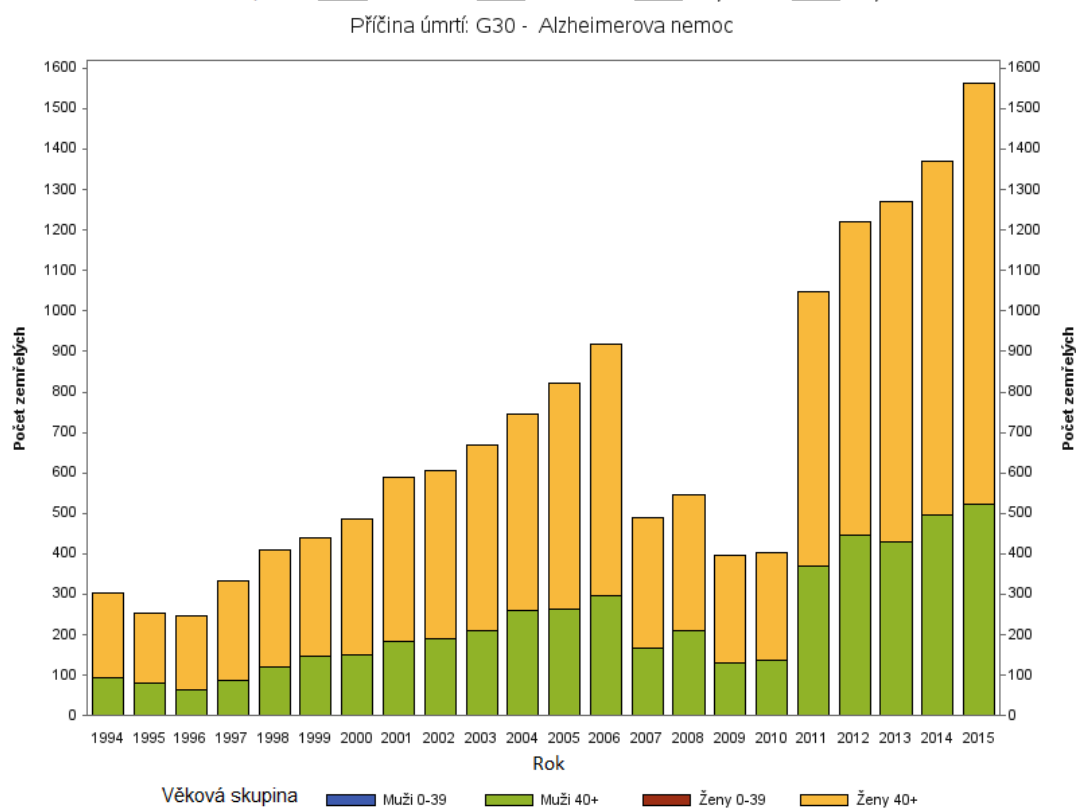
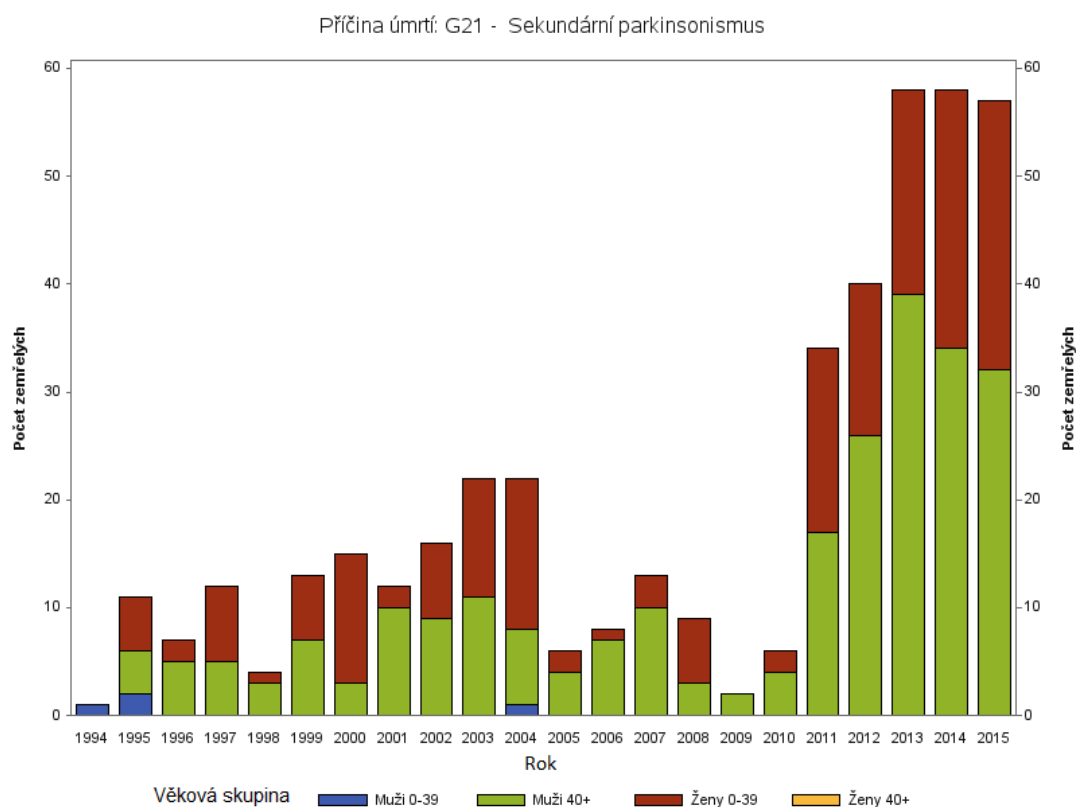
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



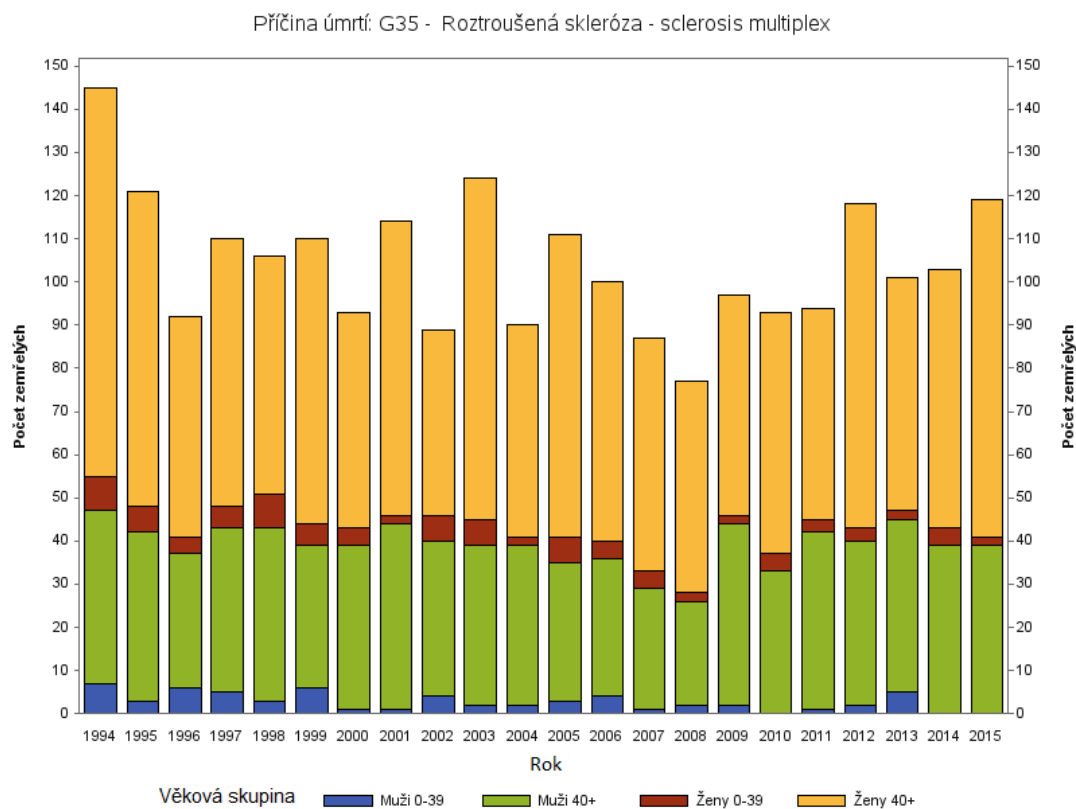
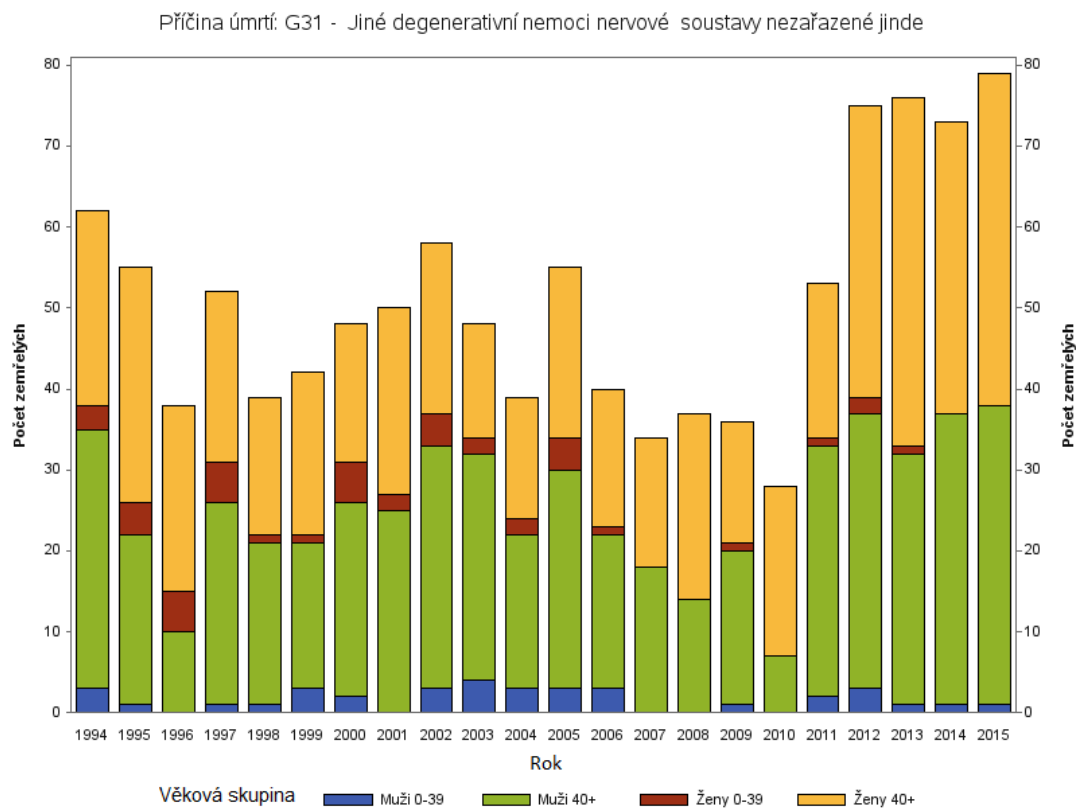
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



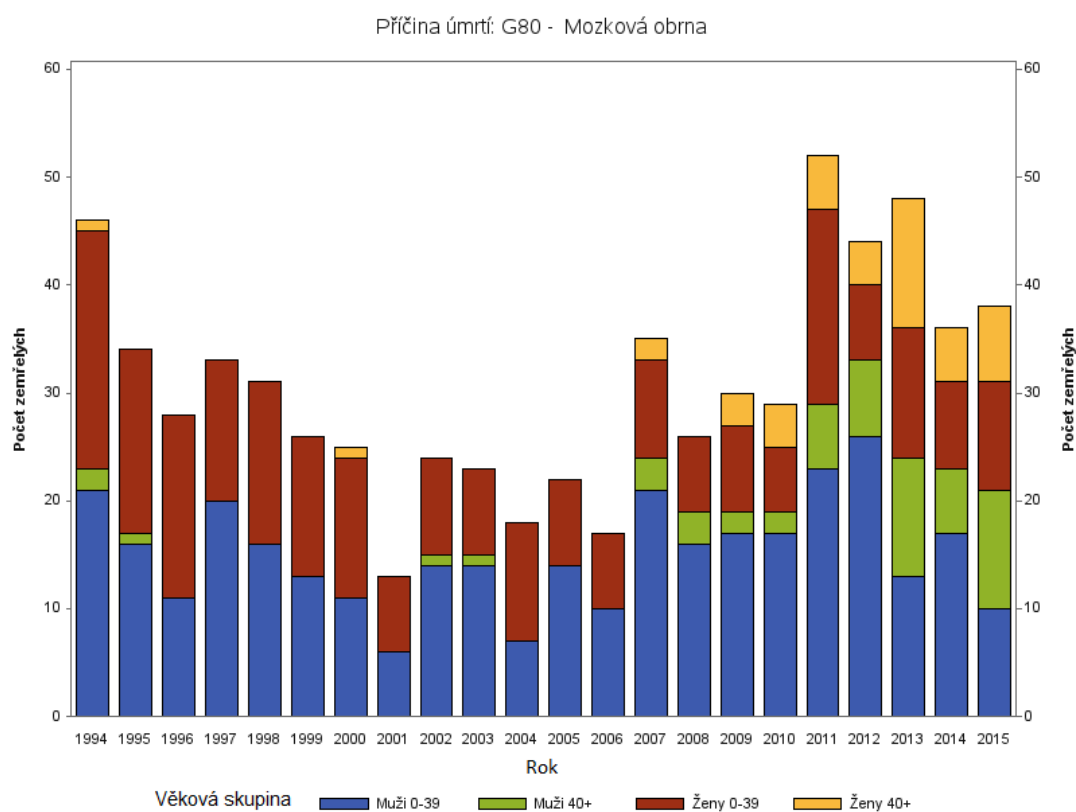
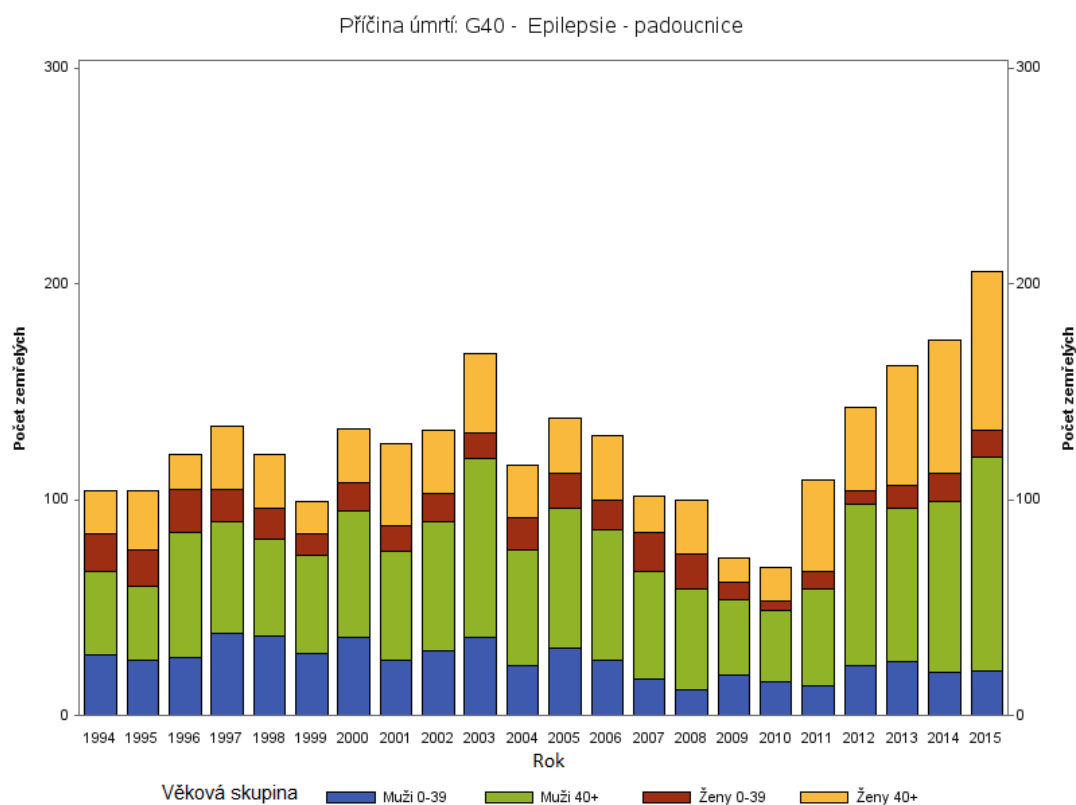
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



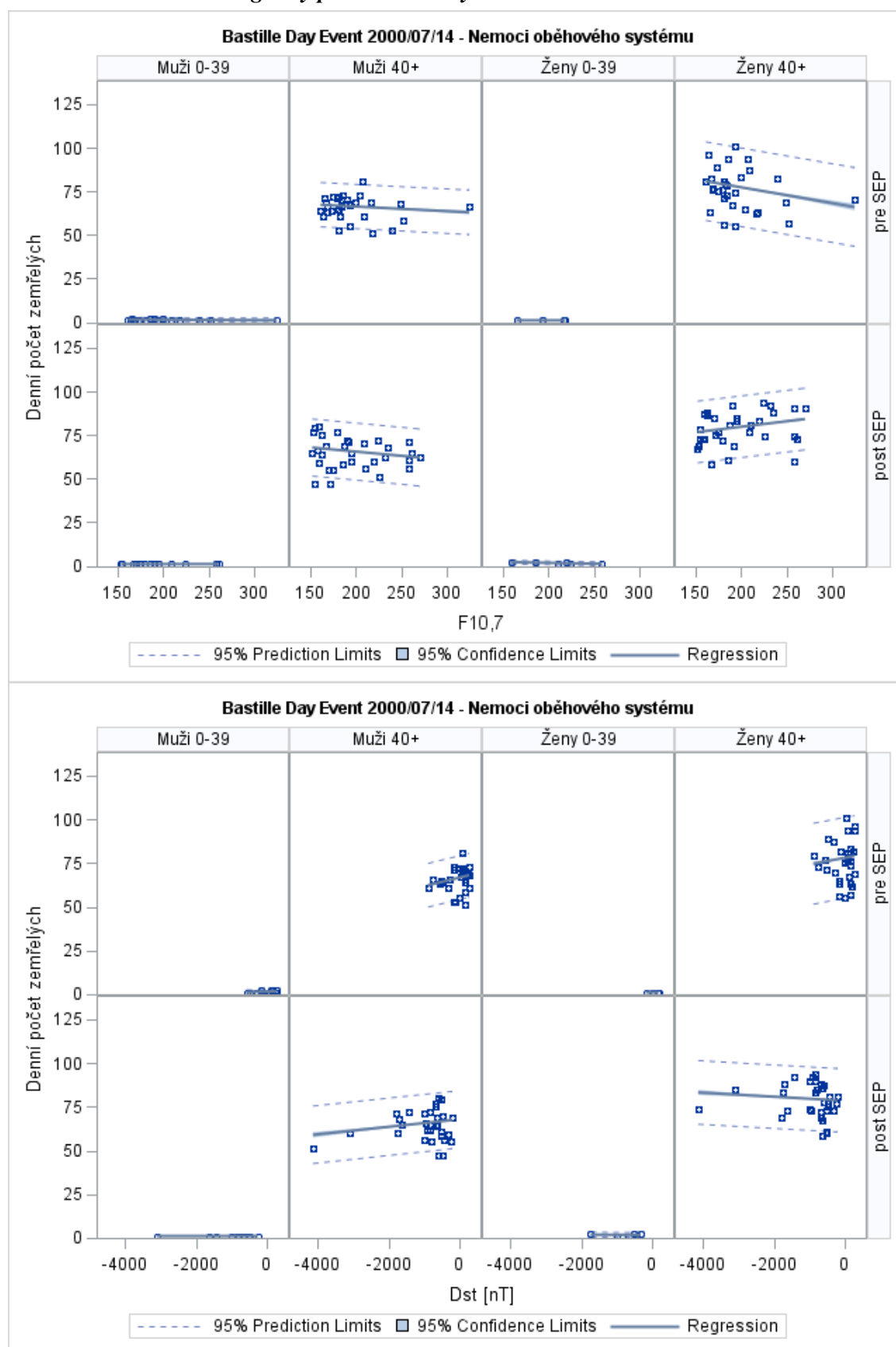
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



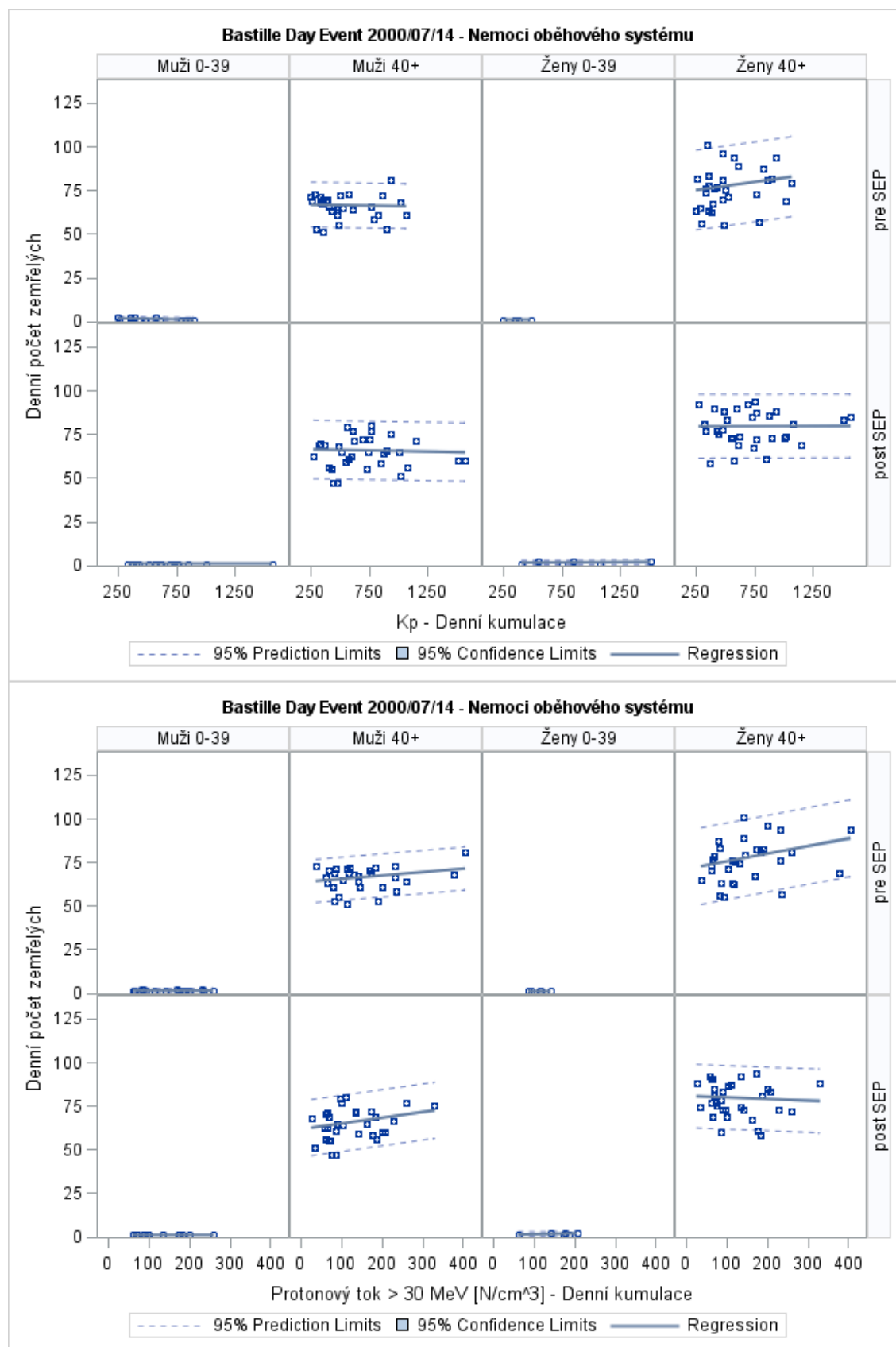
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



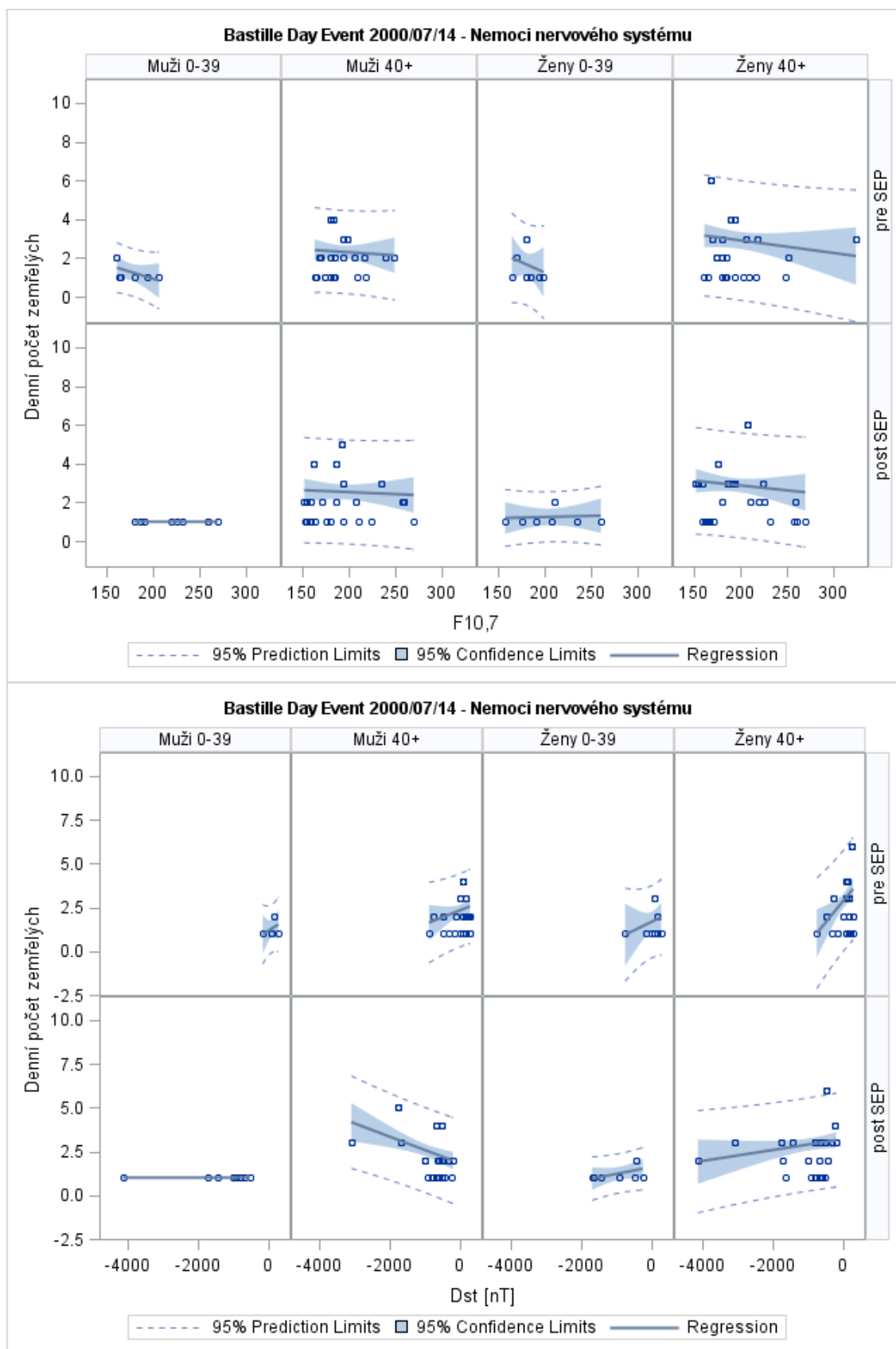
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Příloha 3 – Korelační diagramy pro období silných slunečních bouří

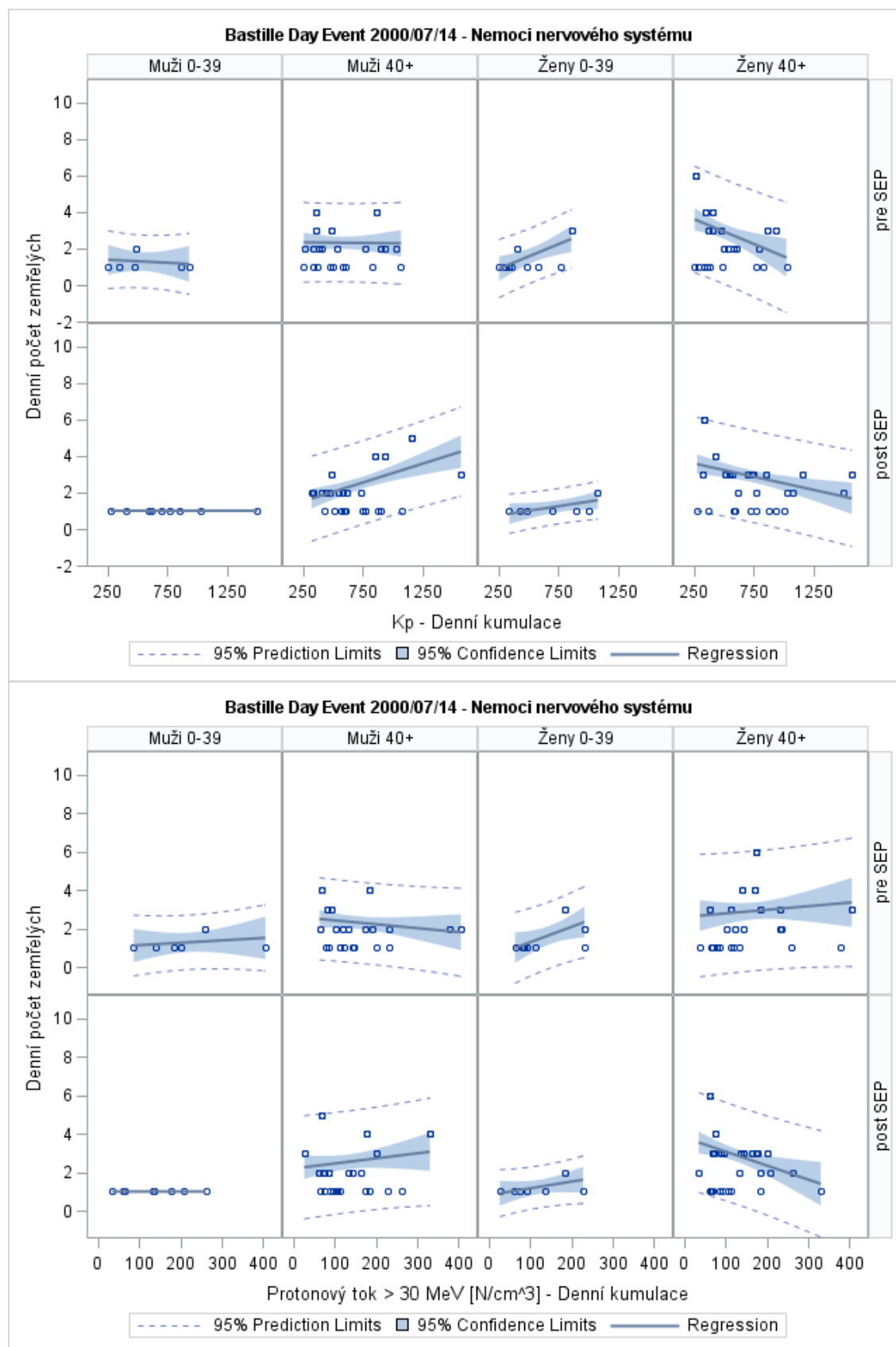
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



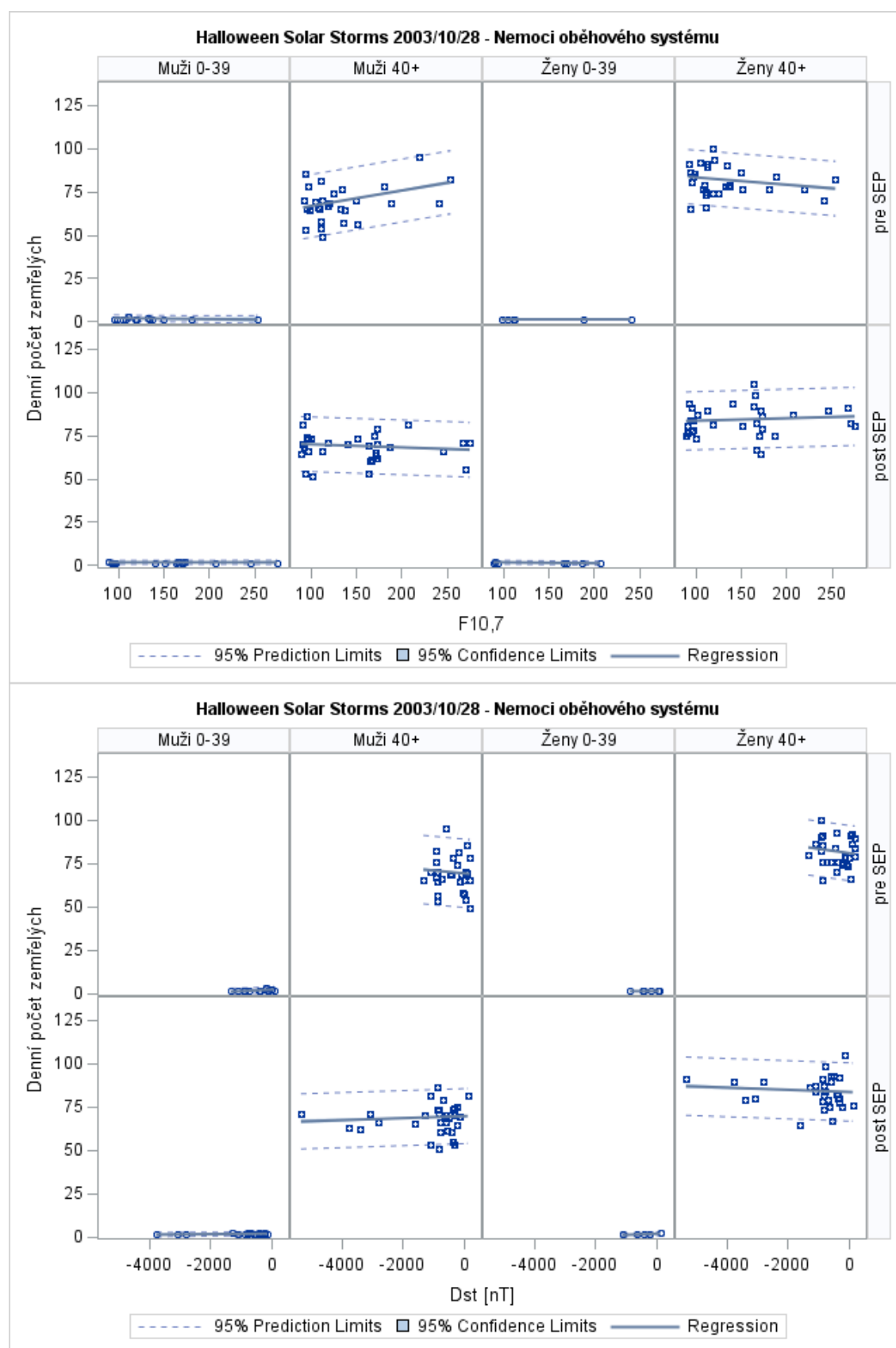
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



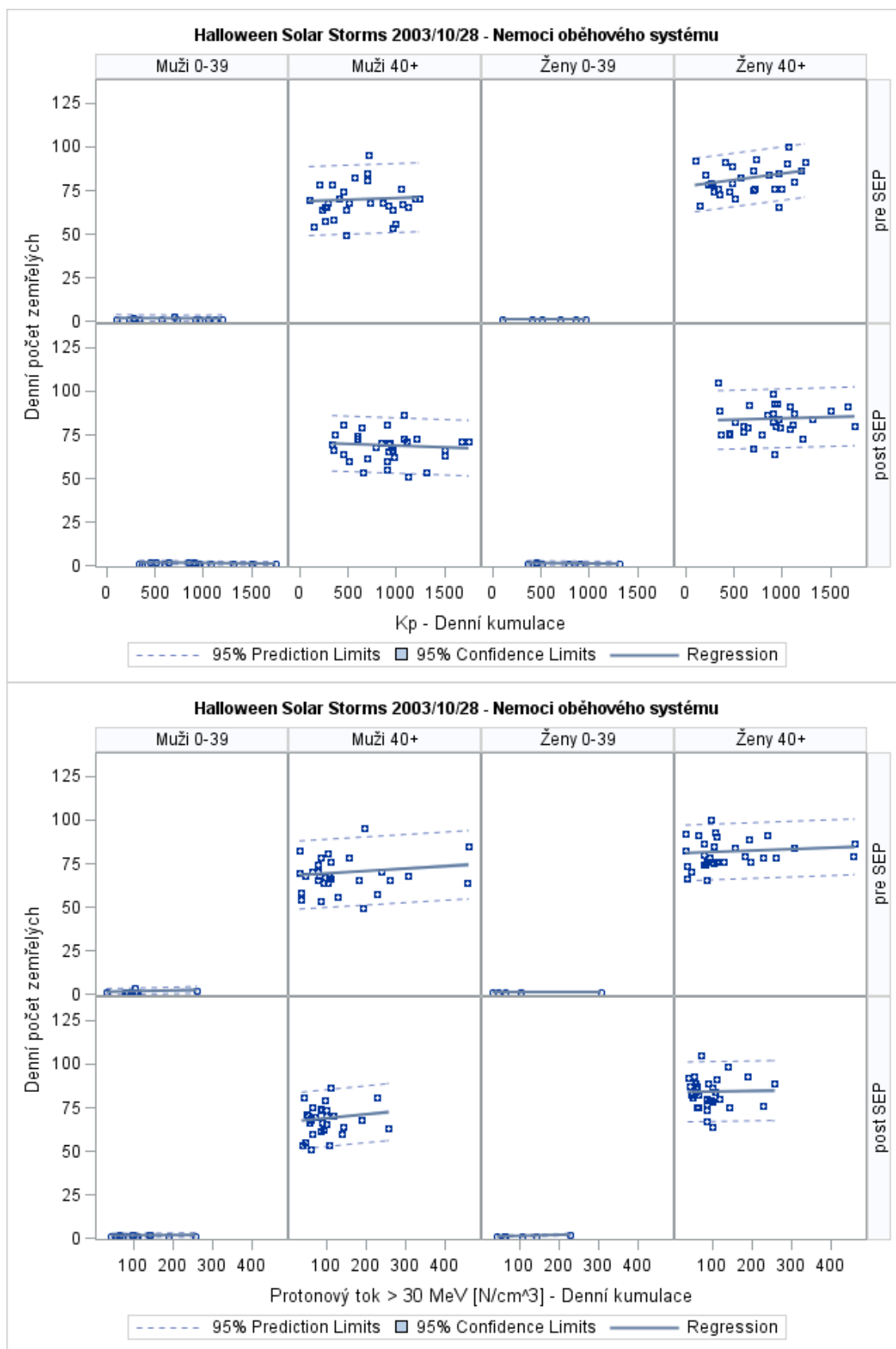
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



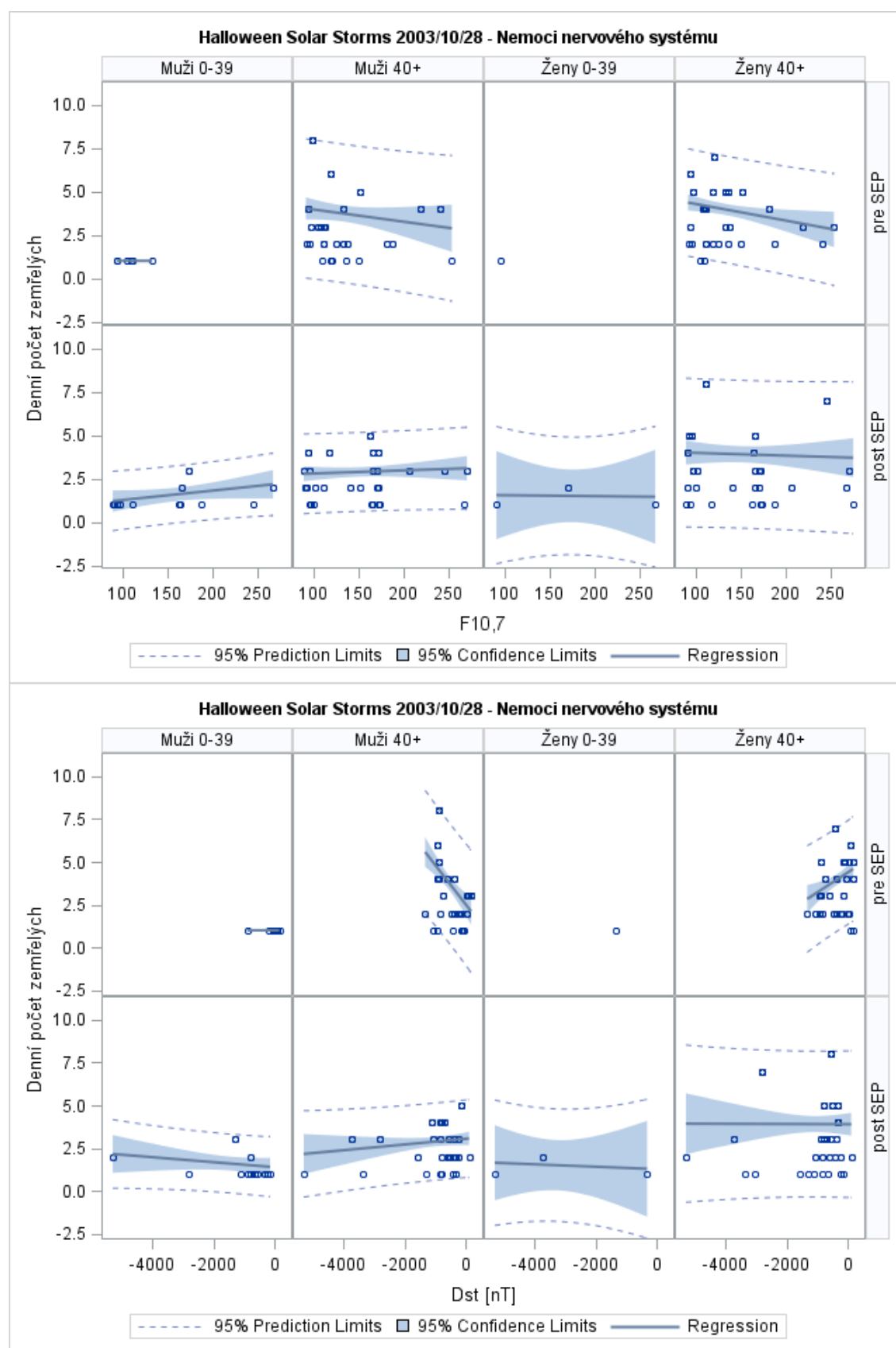
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



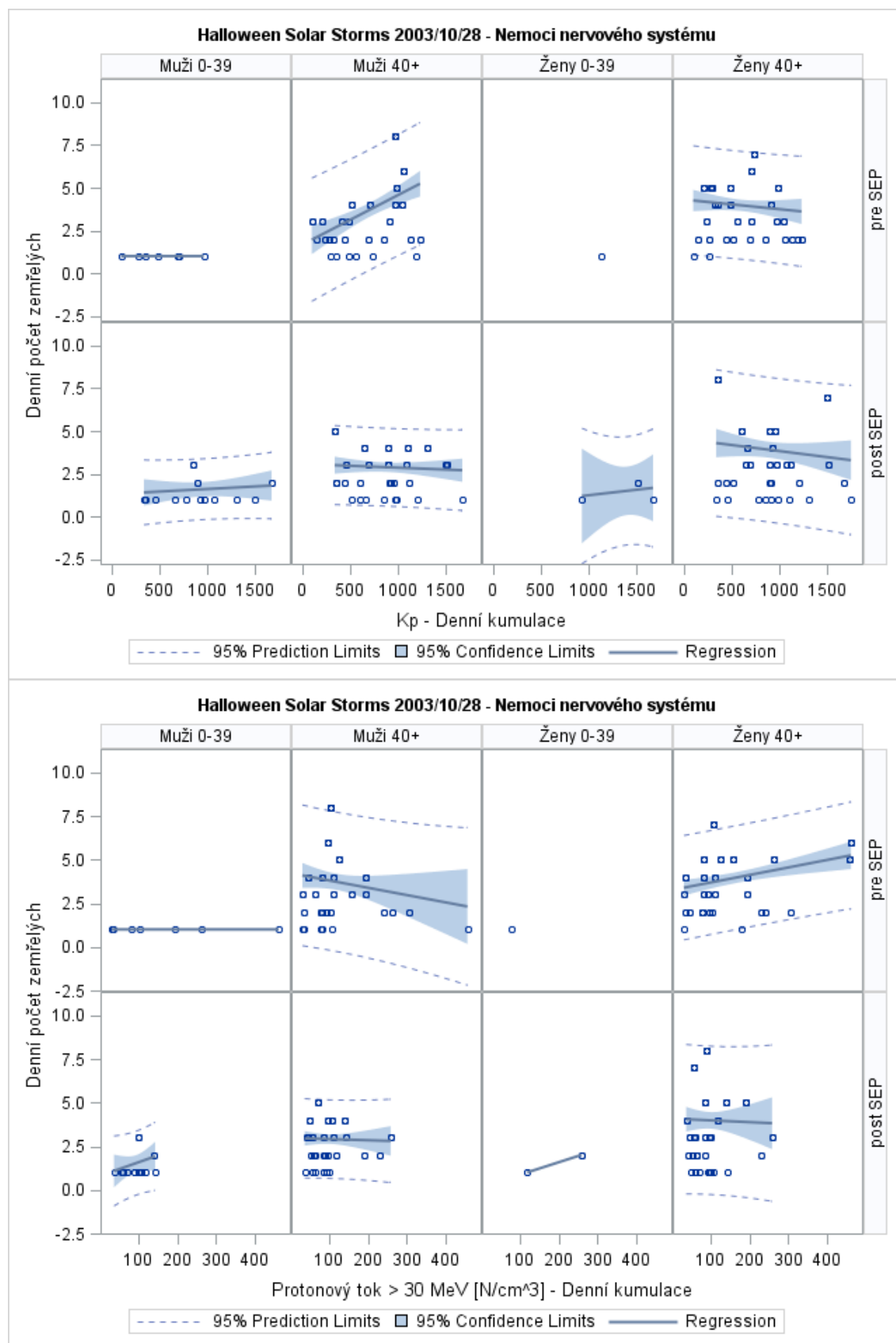
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



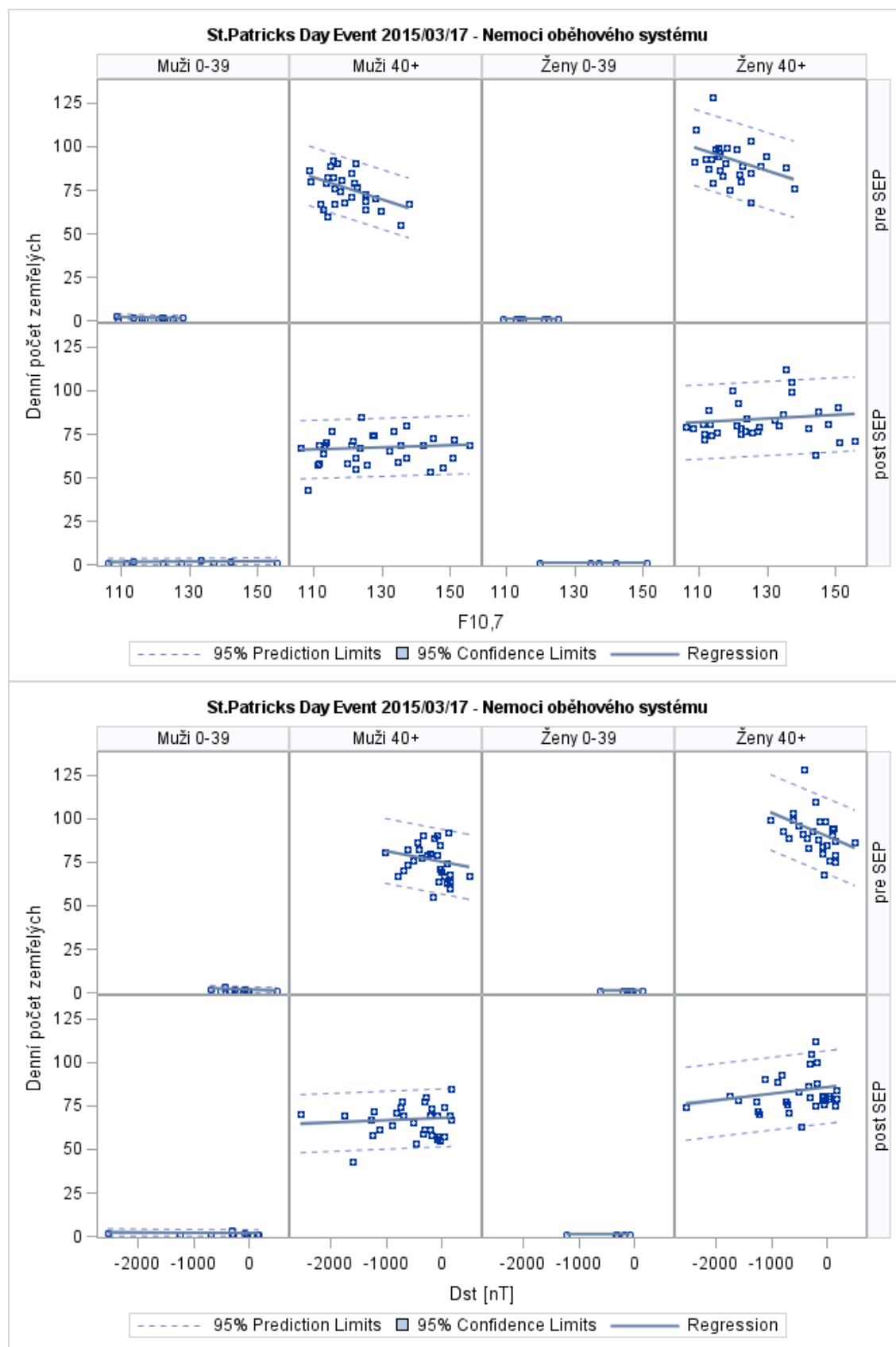
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



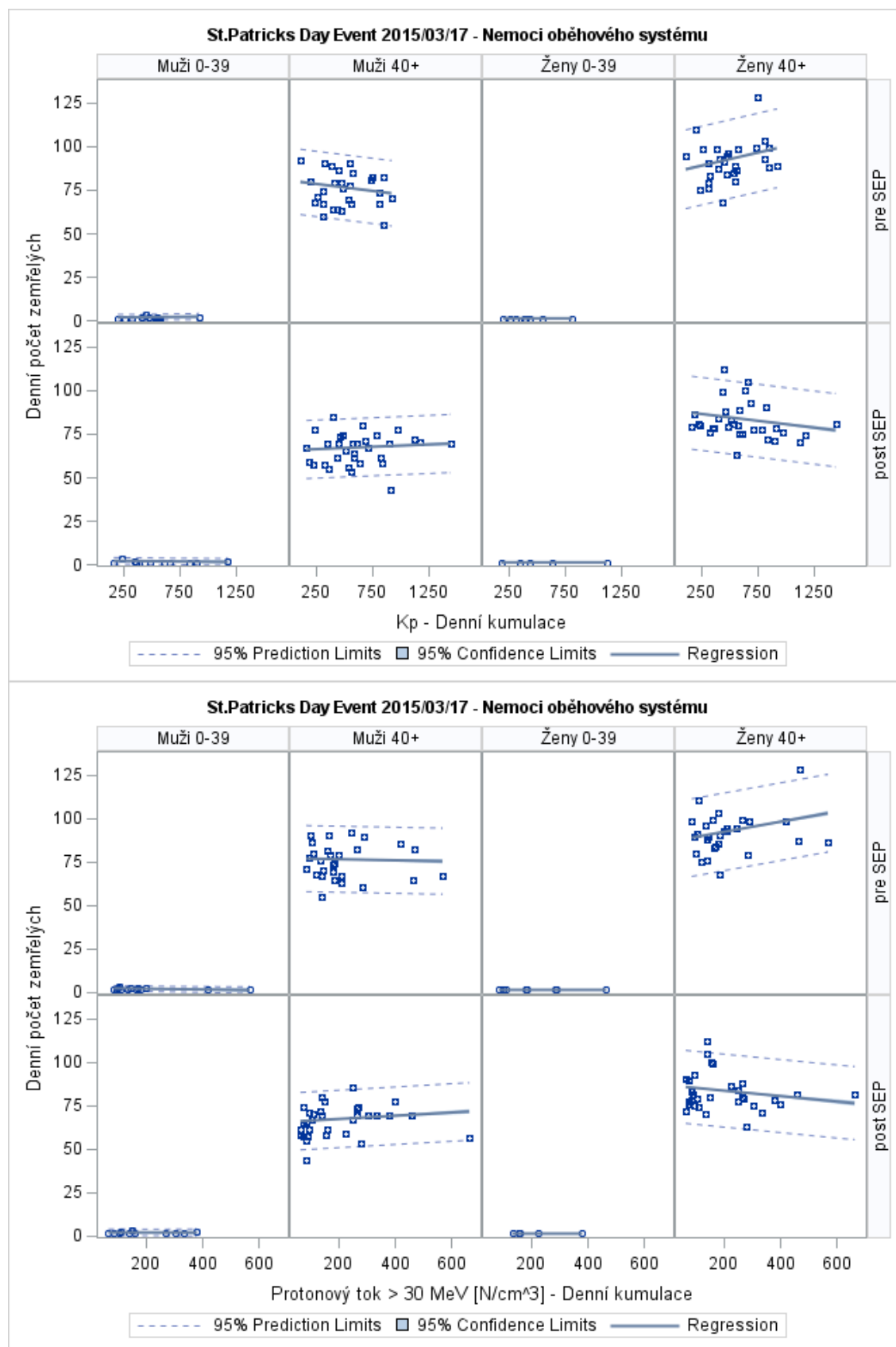
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



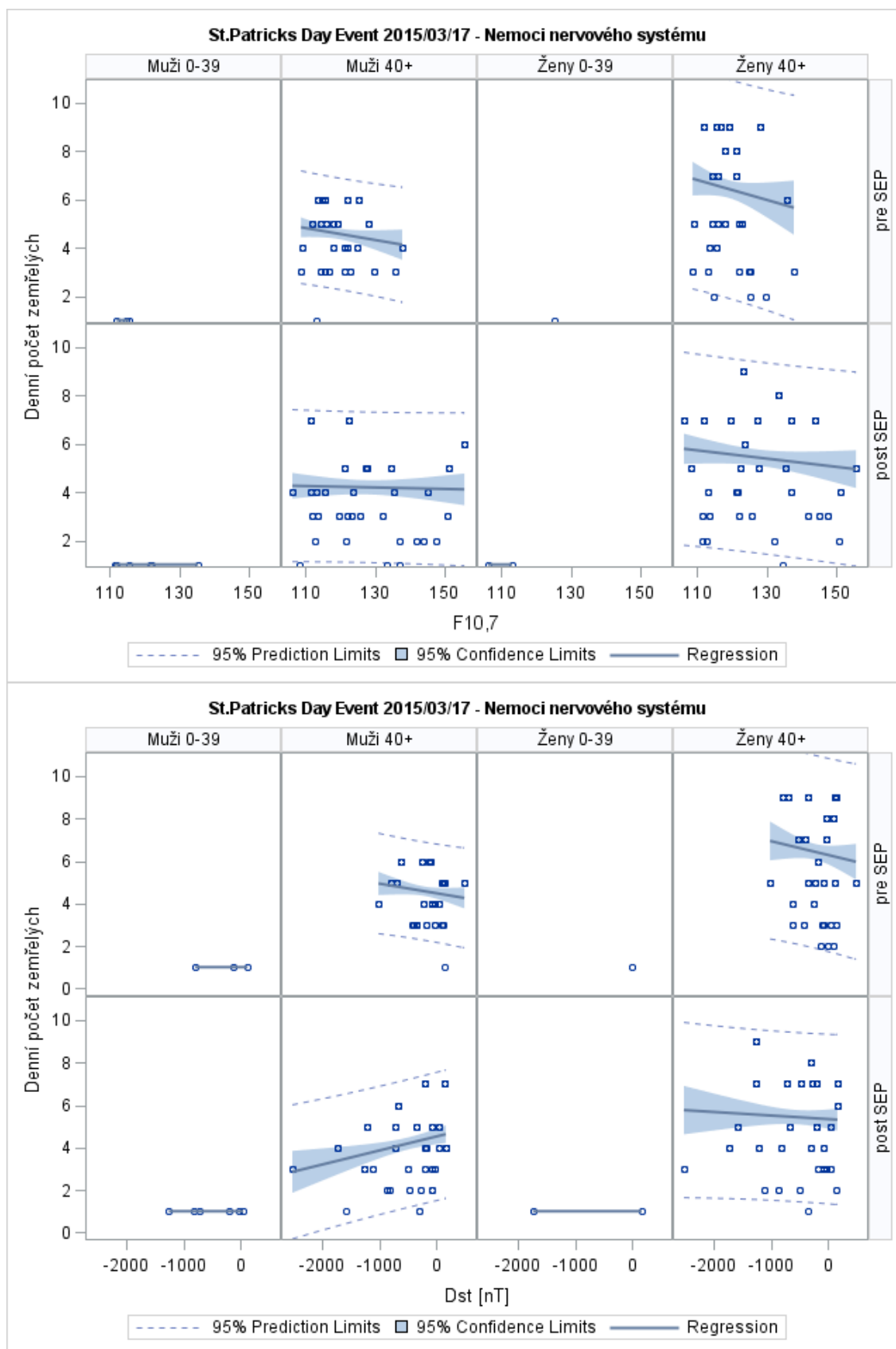
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



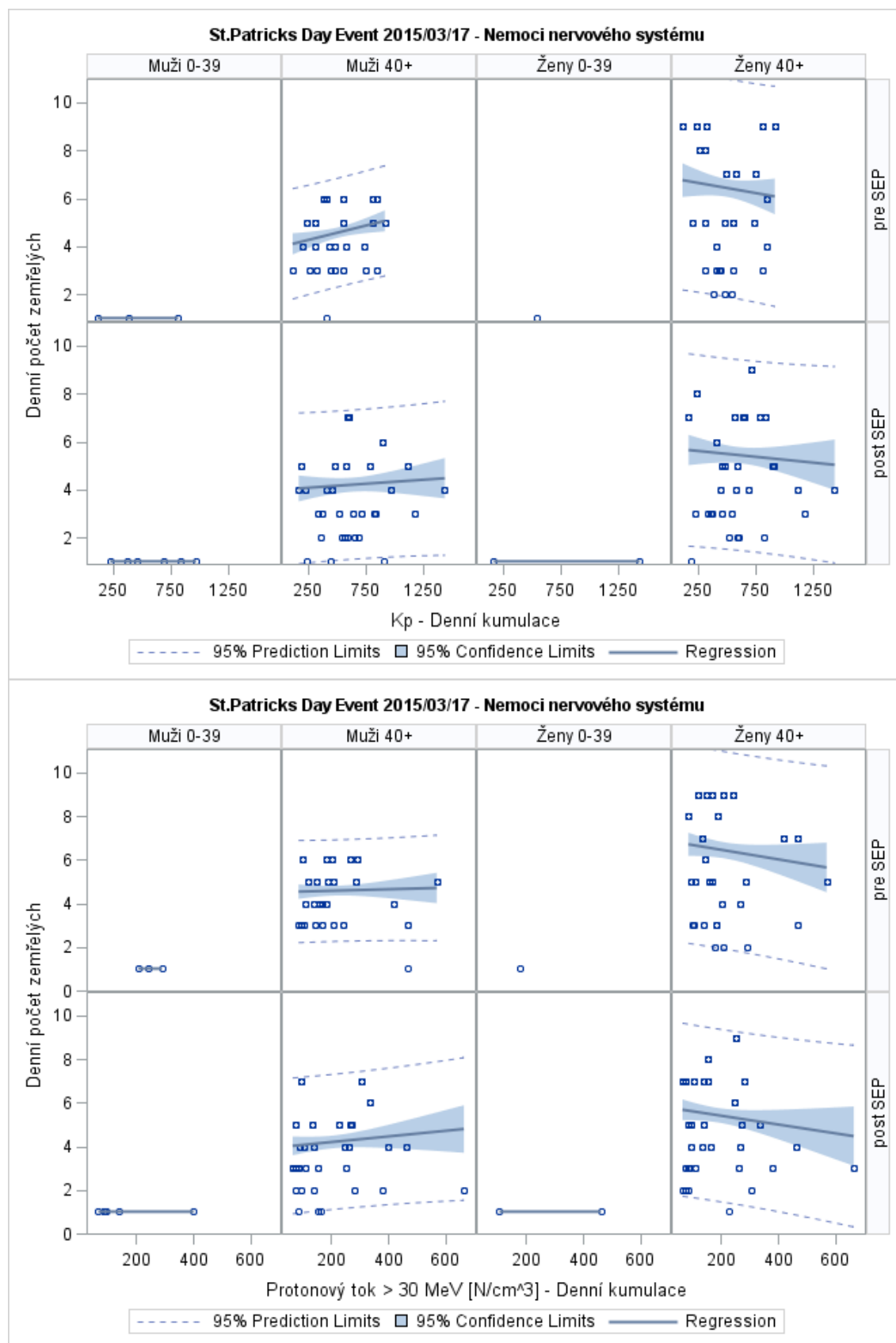
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



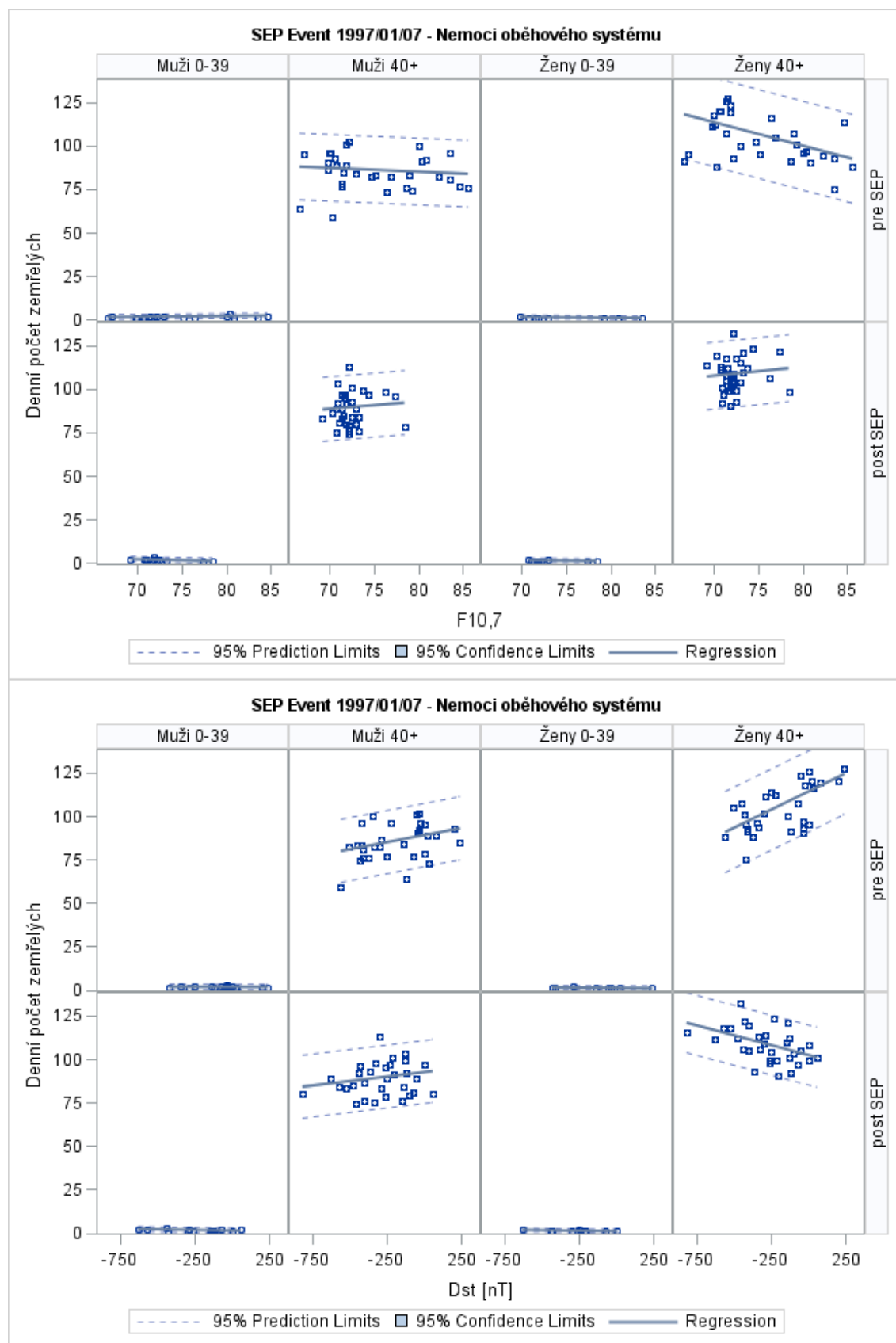
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



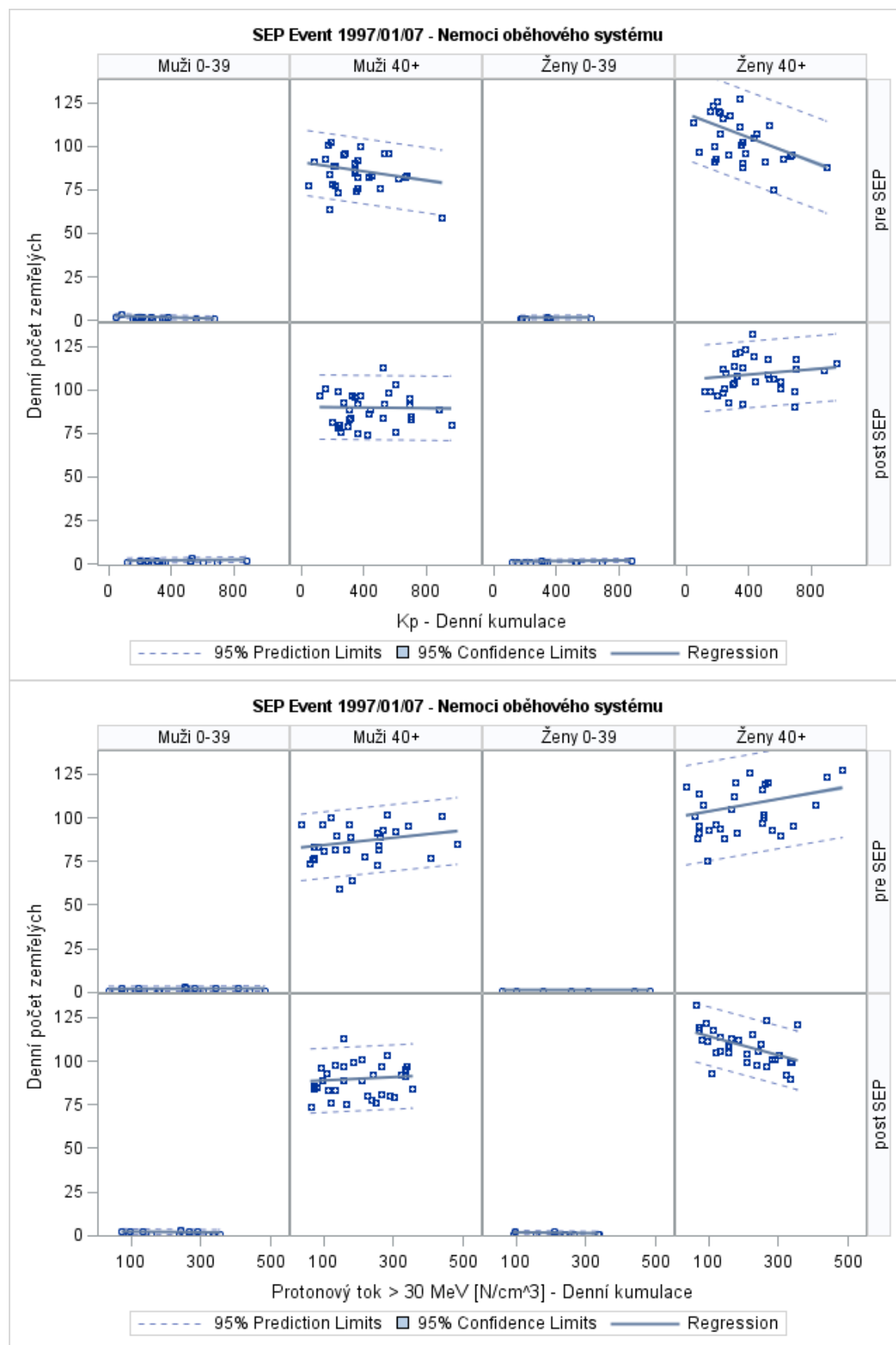
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



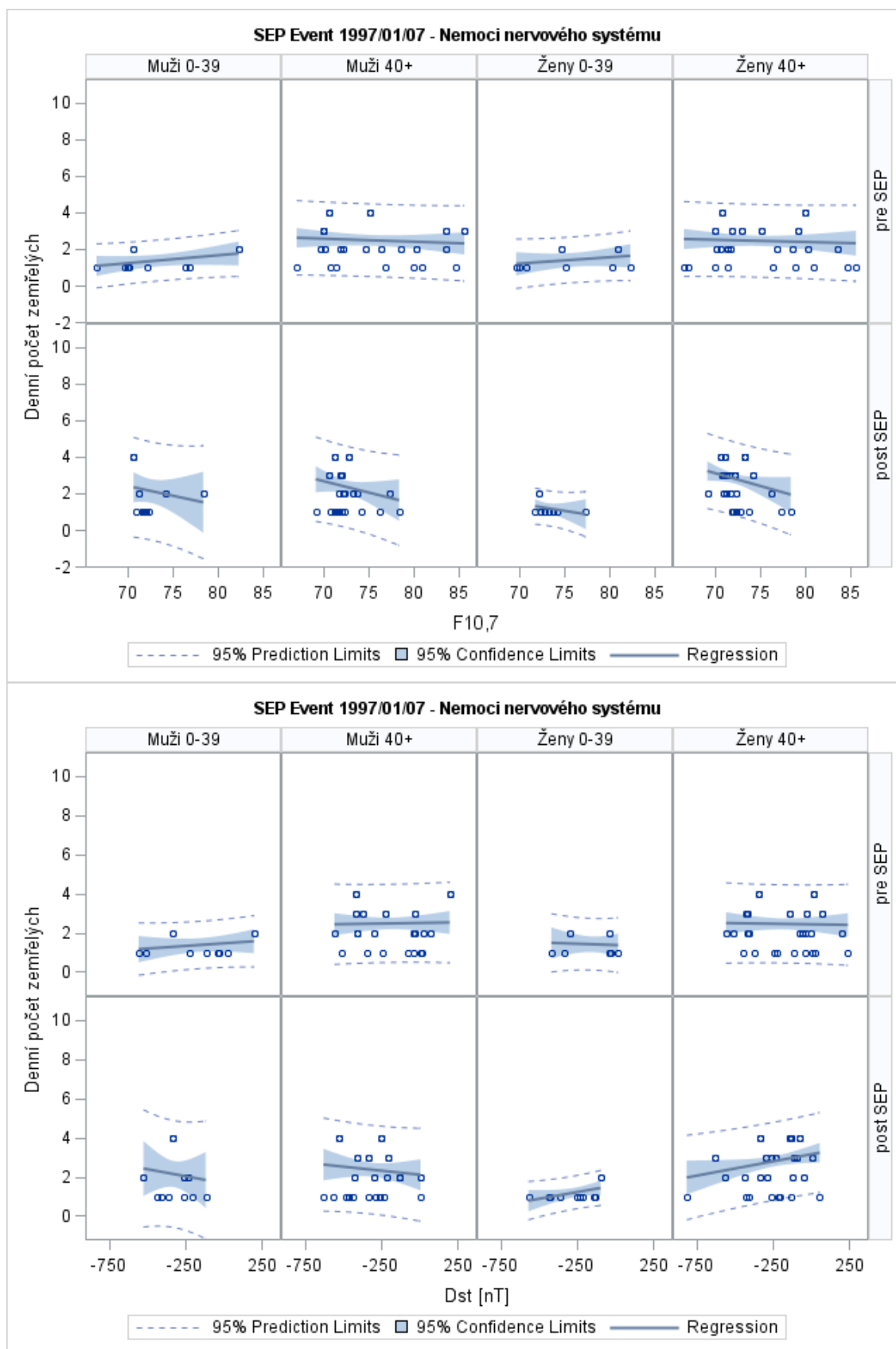
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



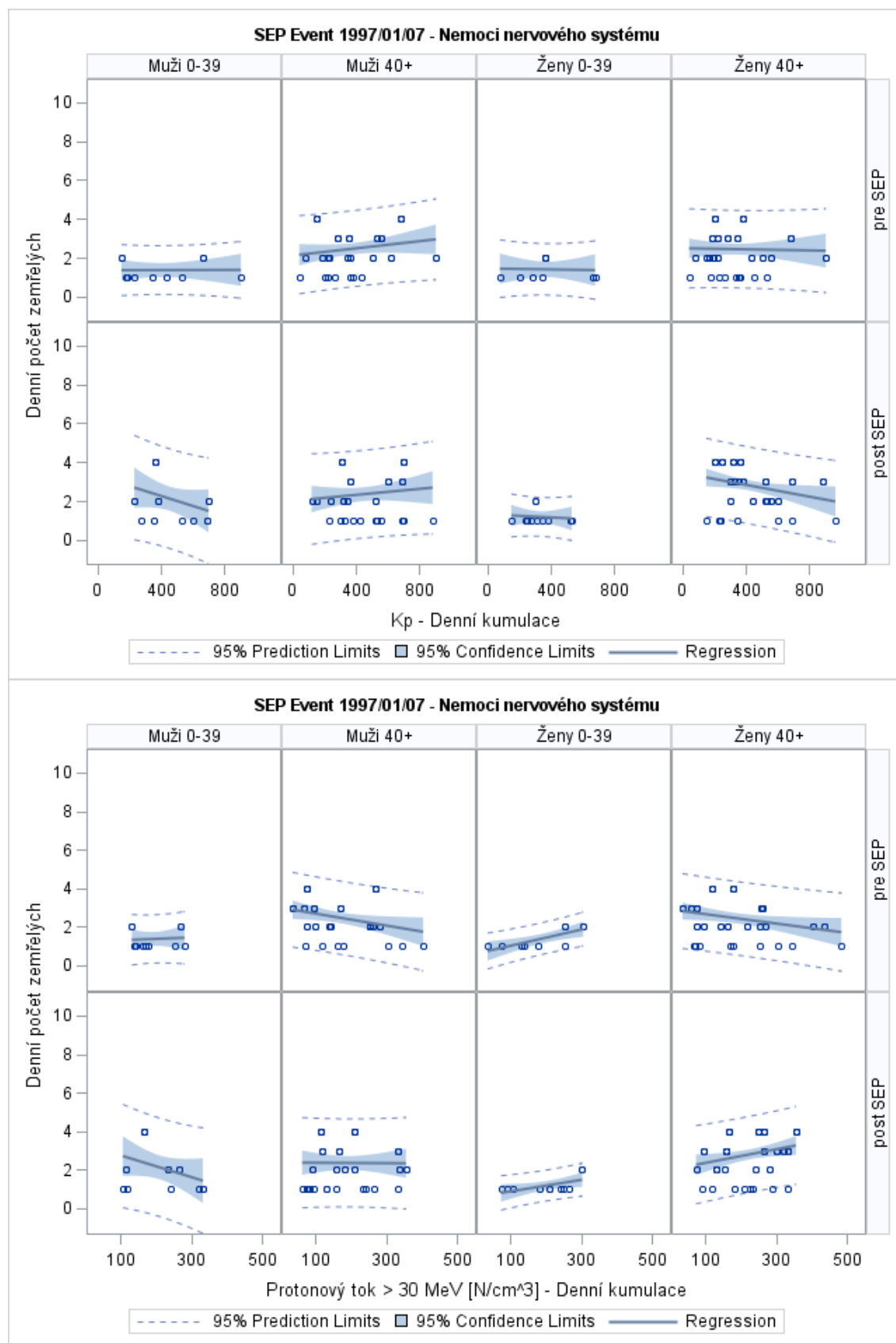
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



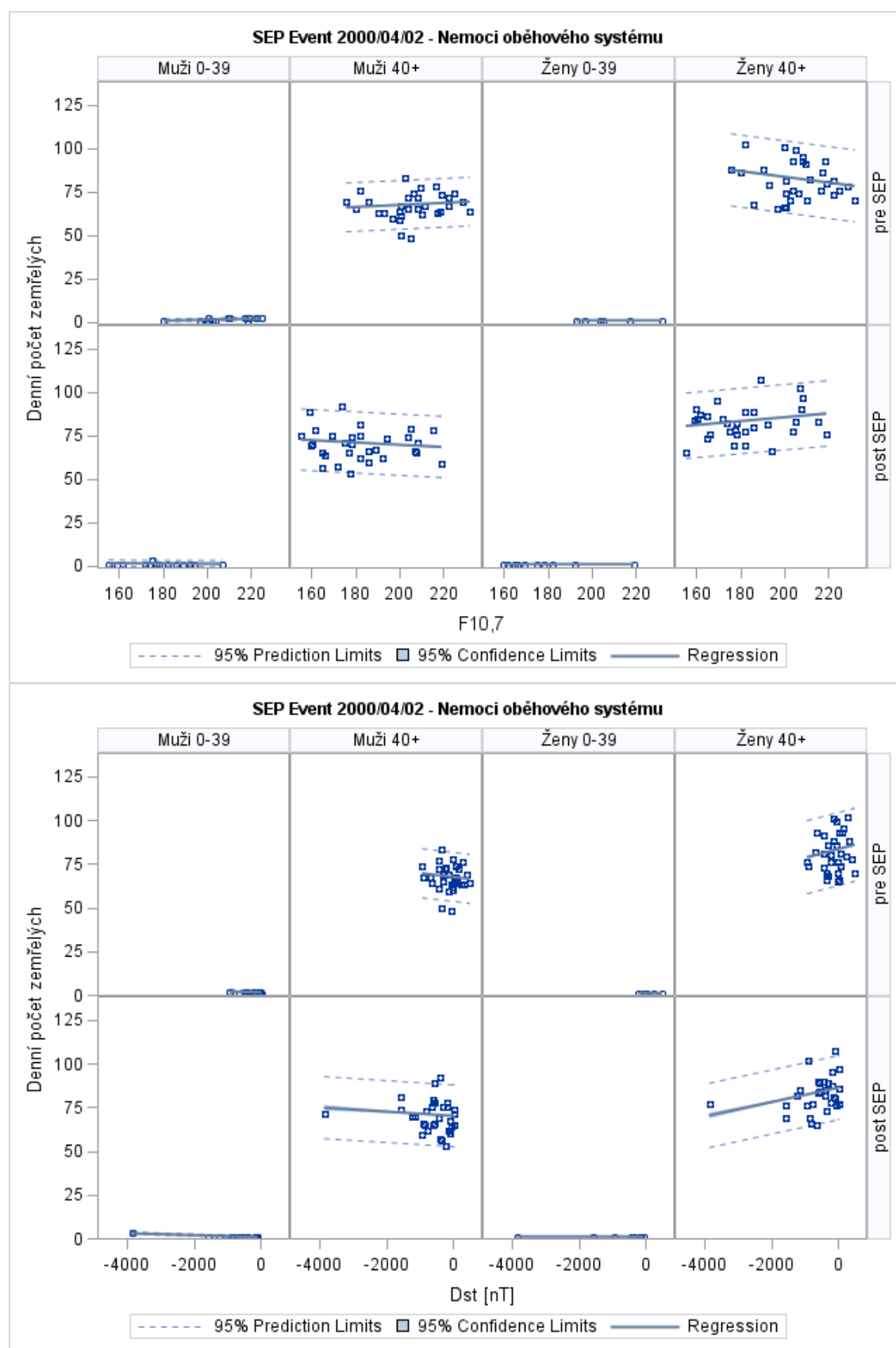
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



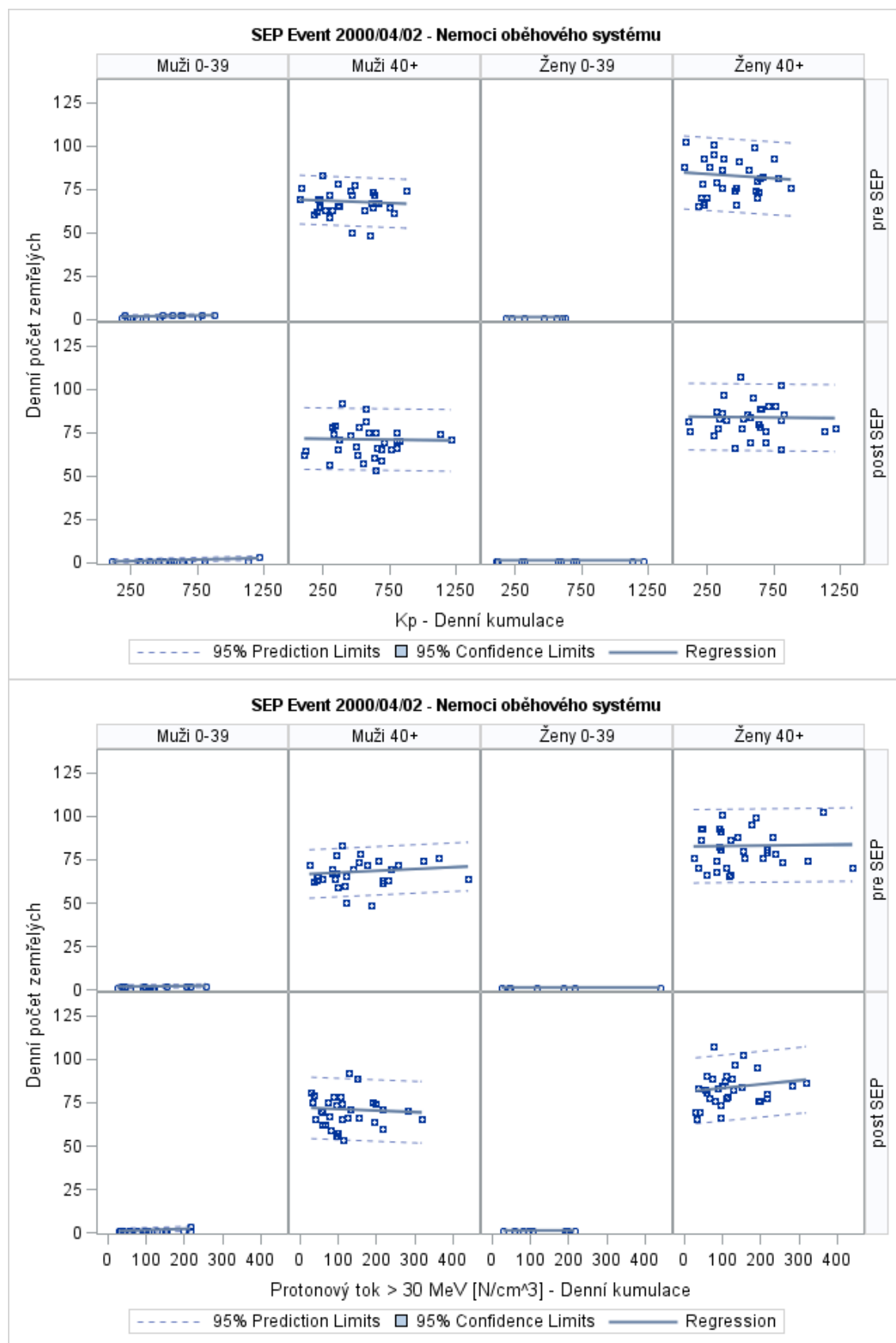
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



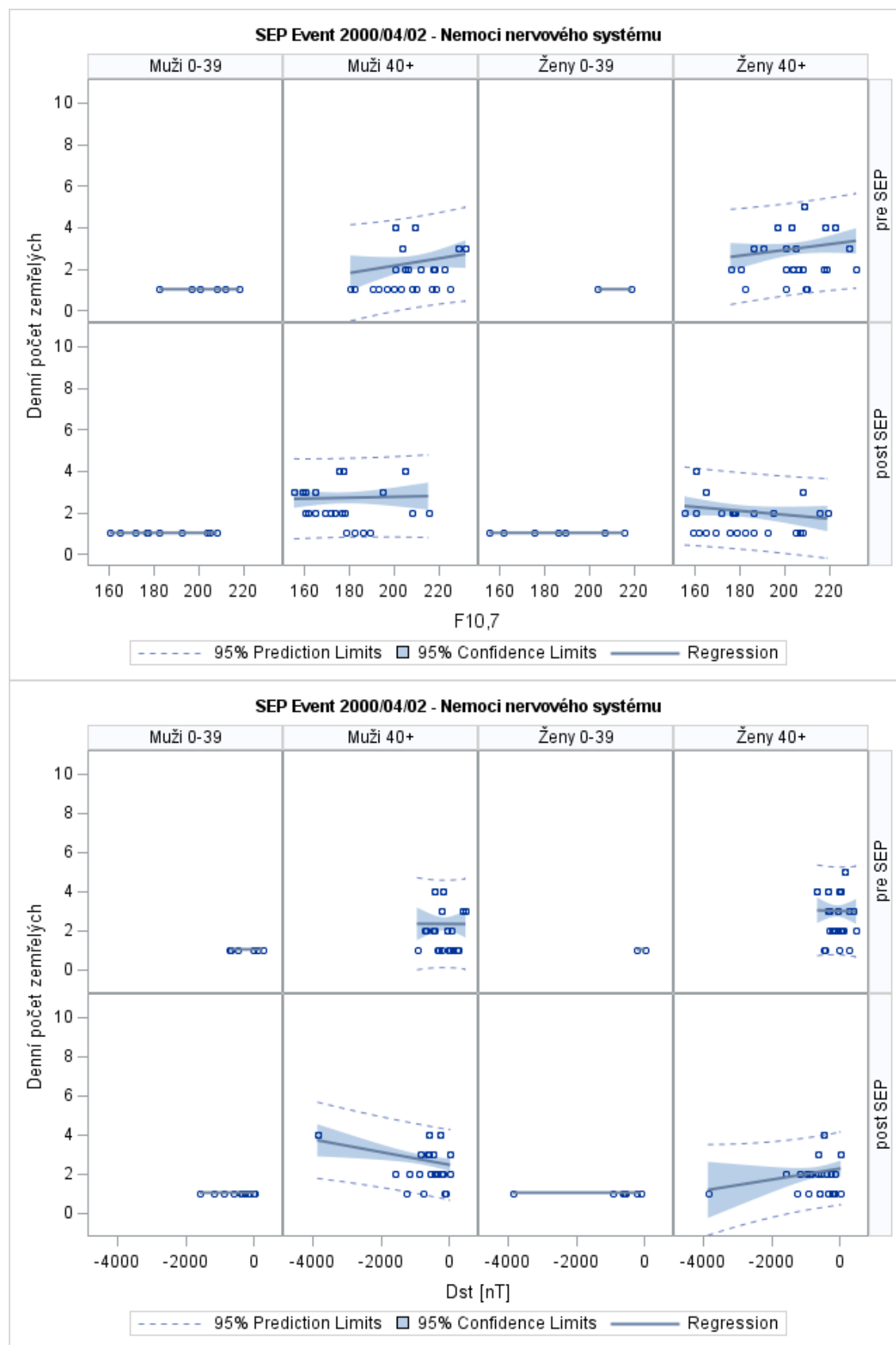
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



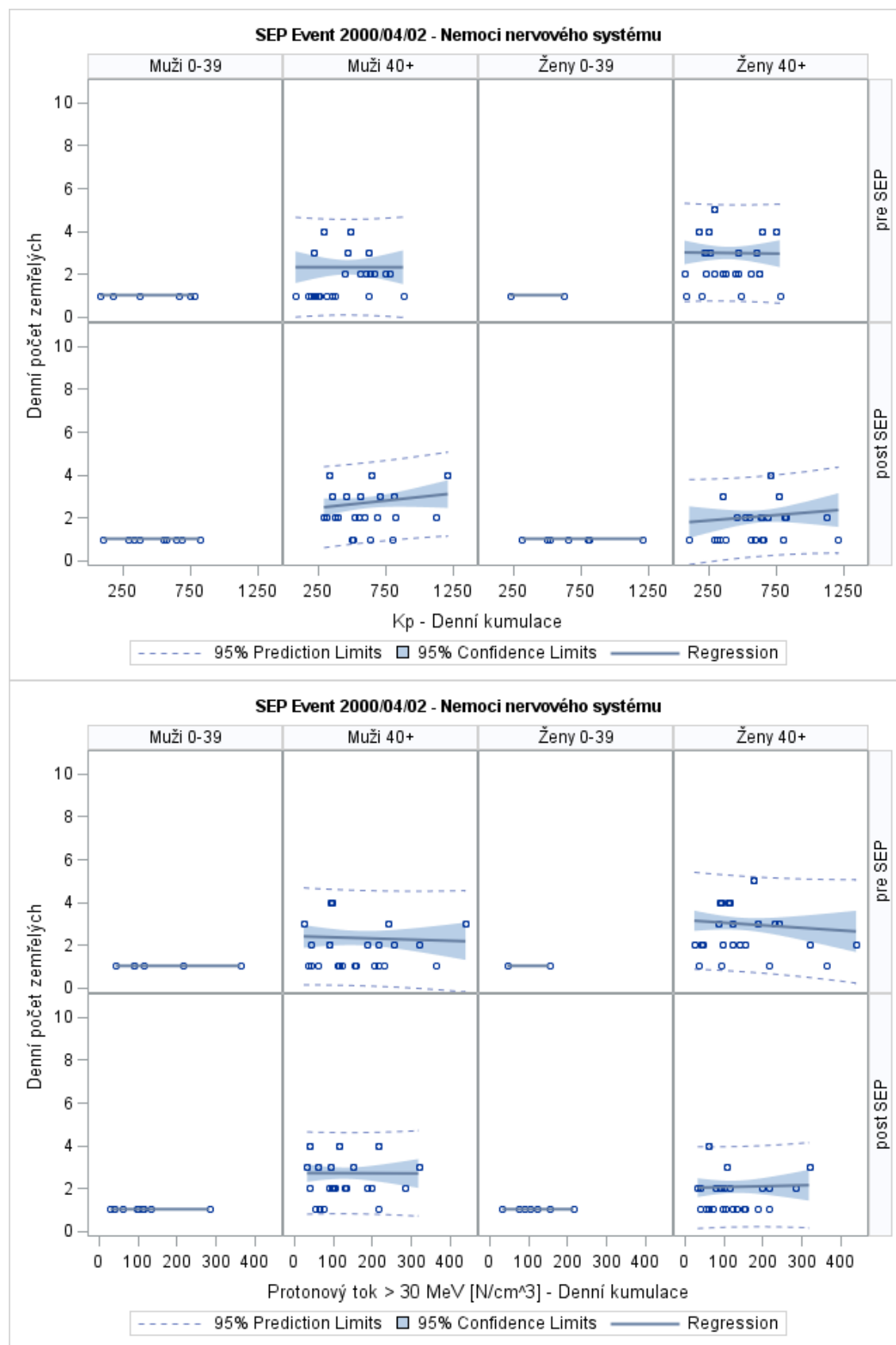
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



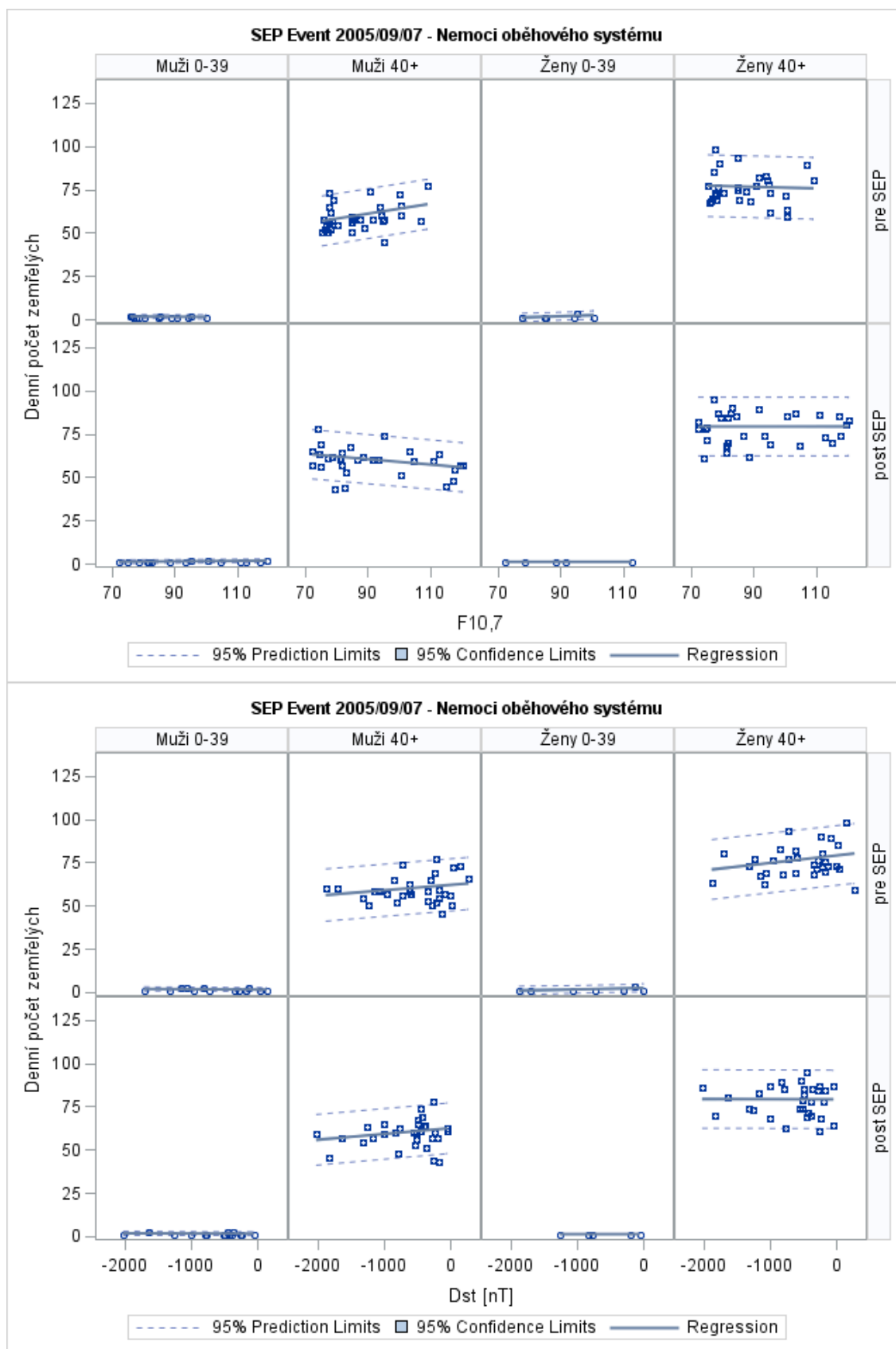
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



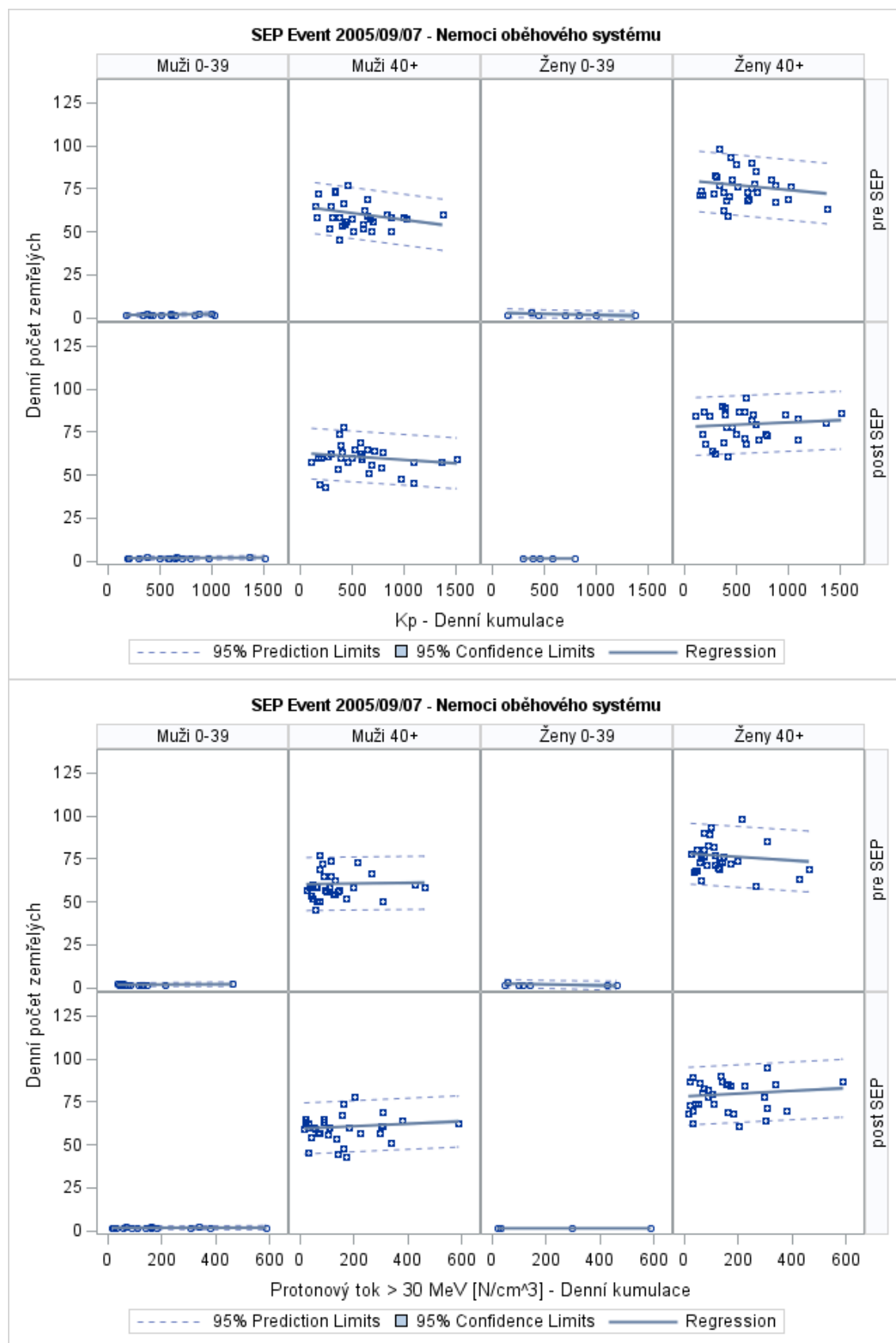
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



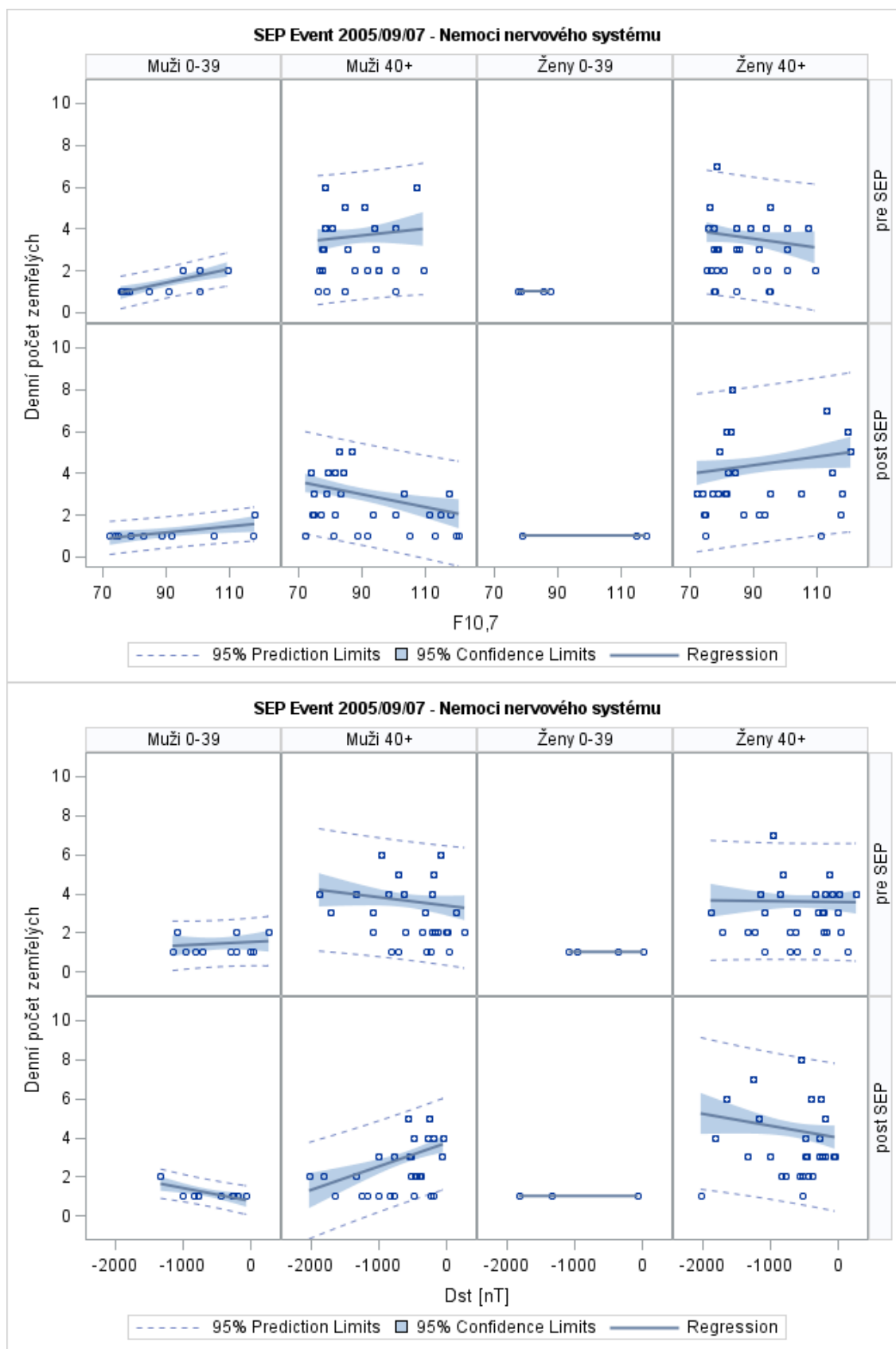
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



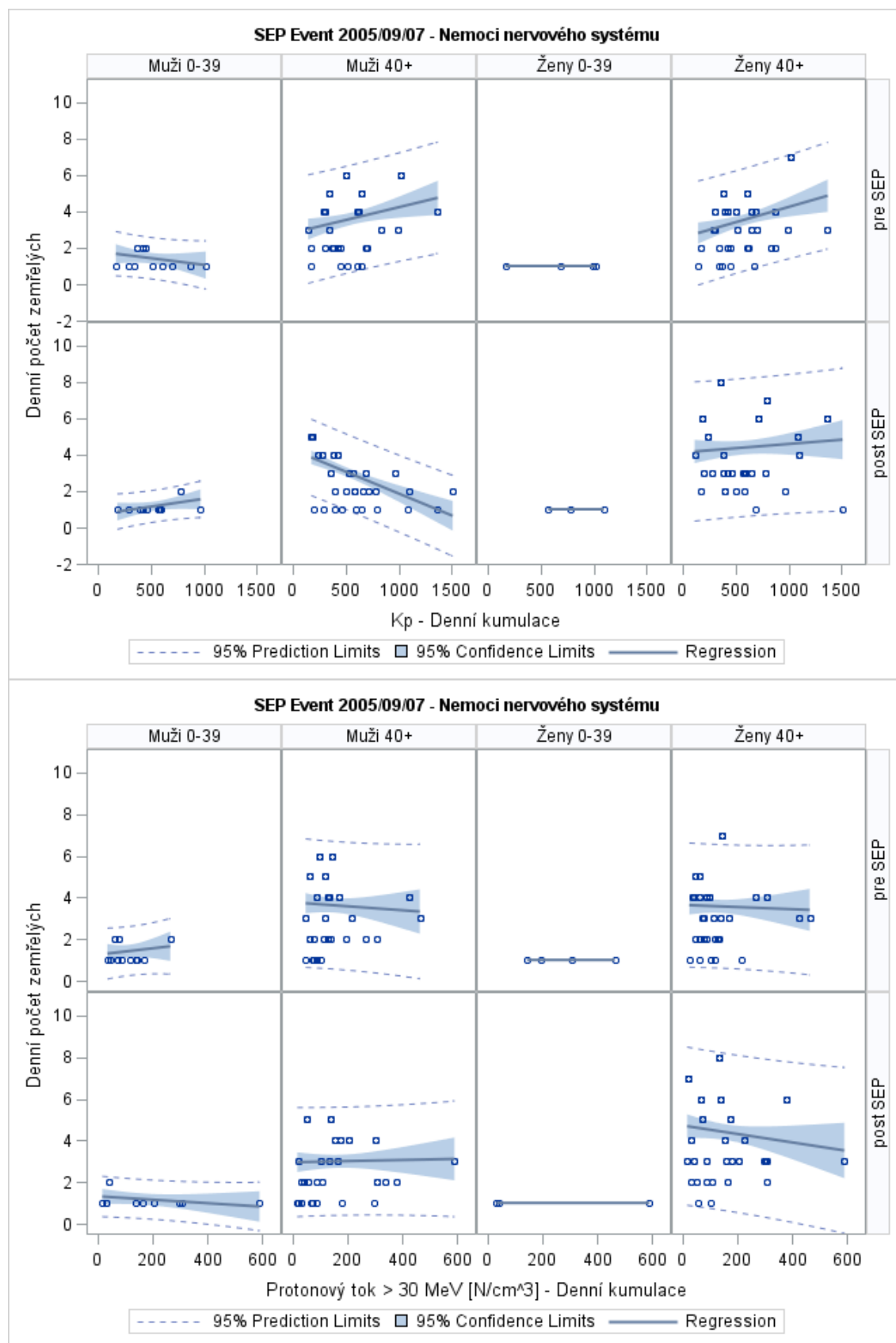
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



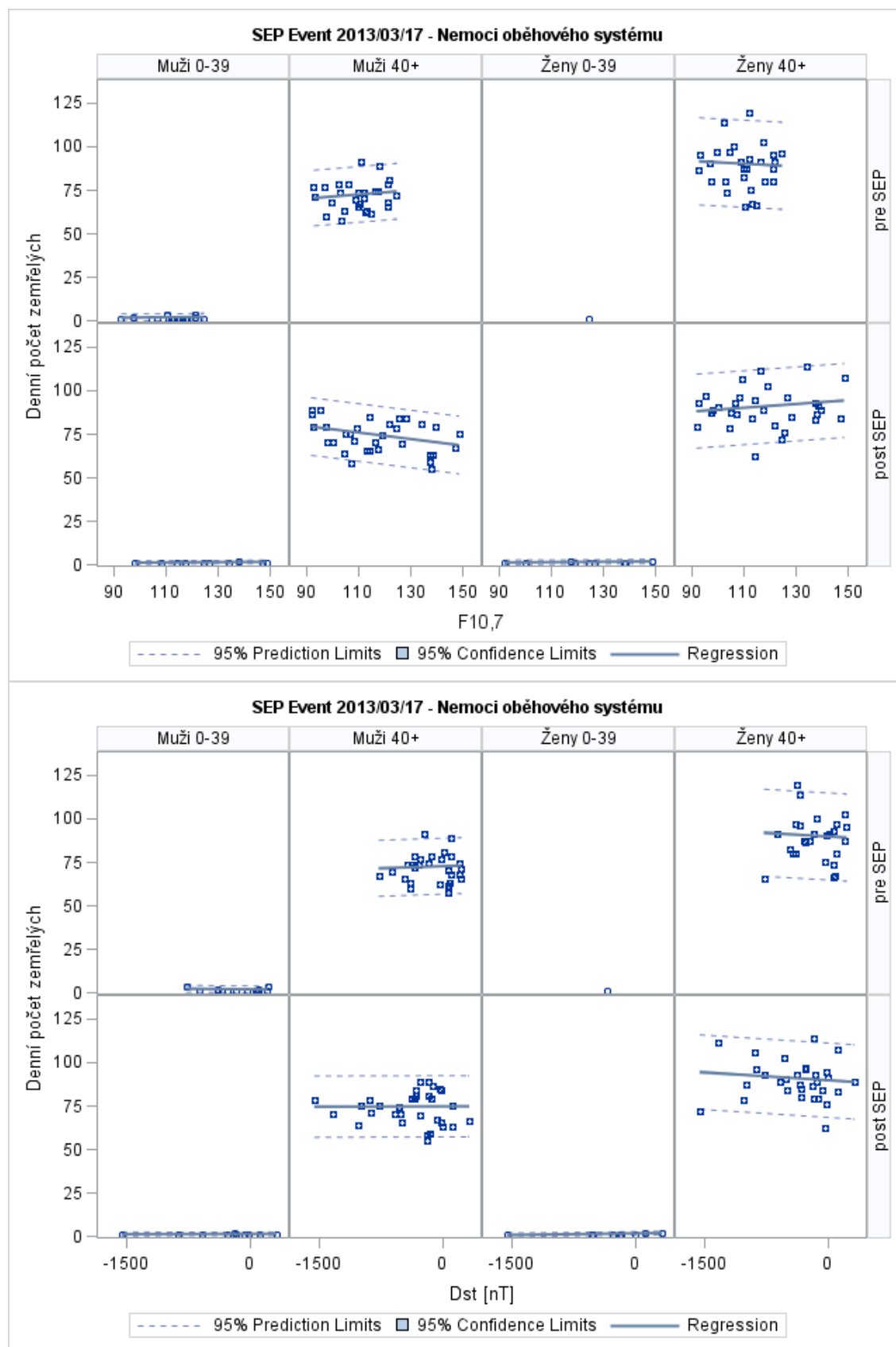
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



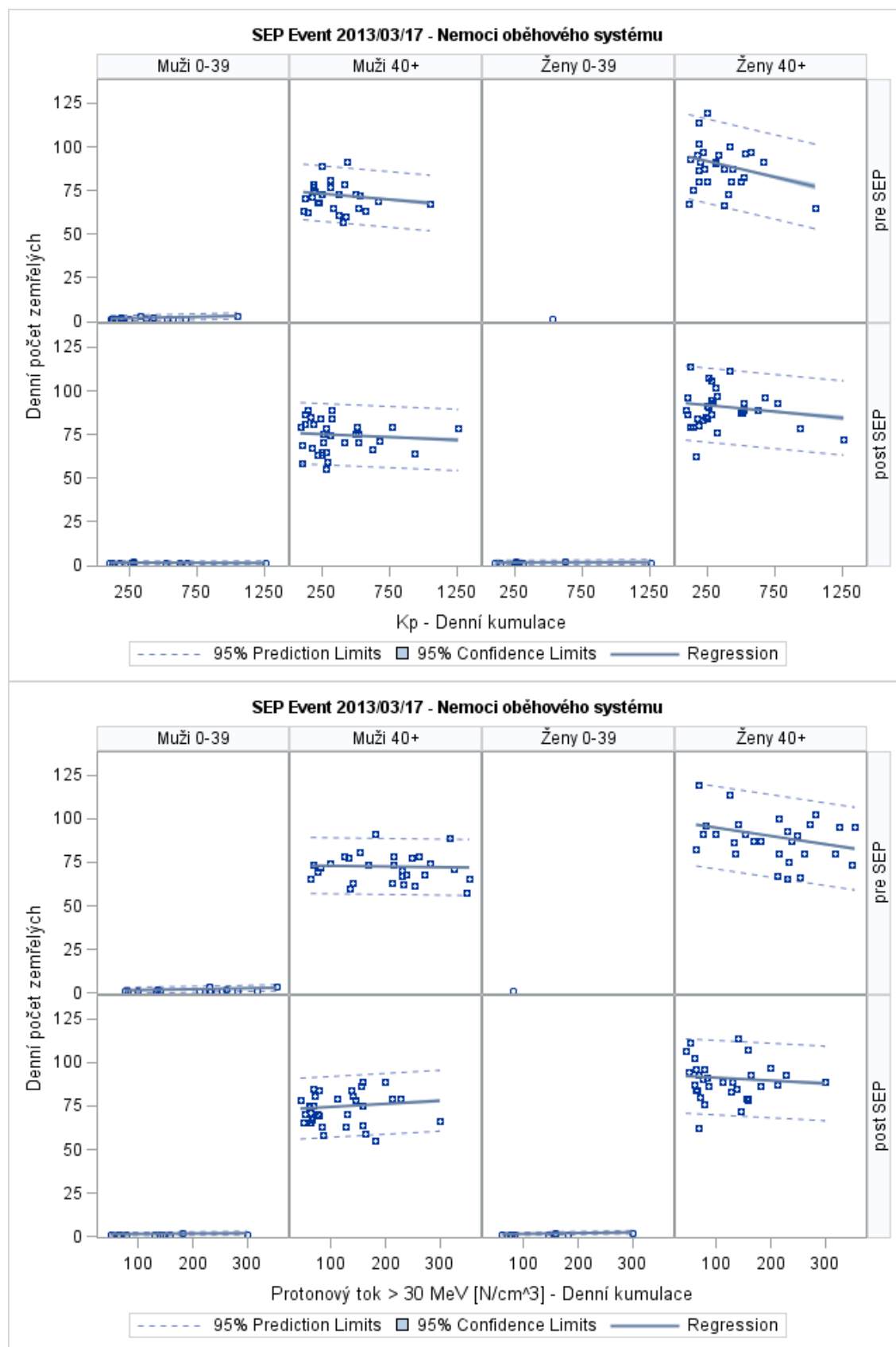
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



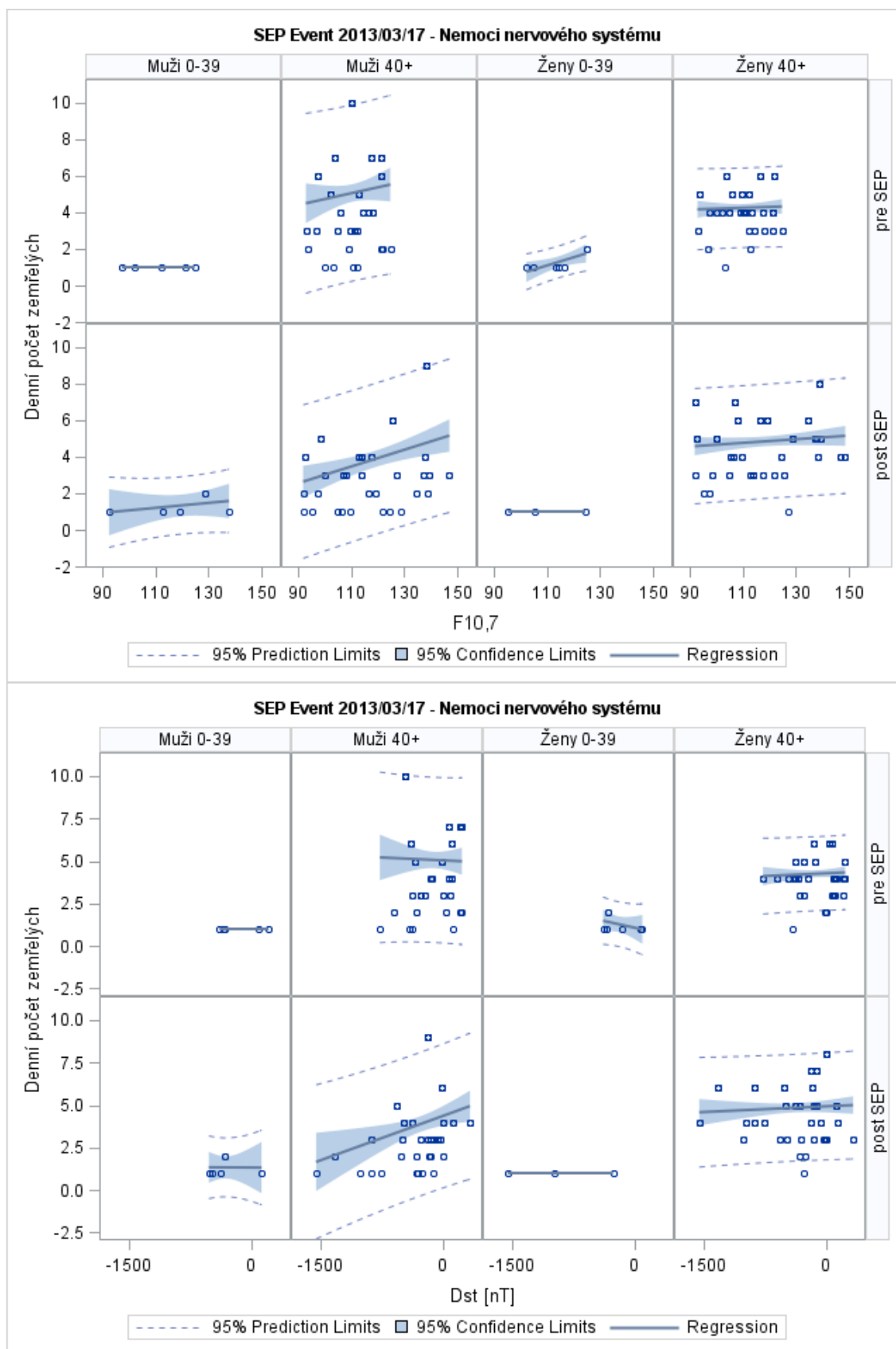
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



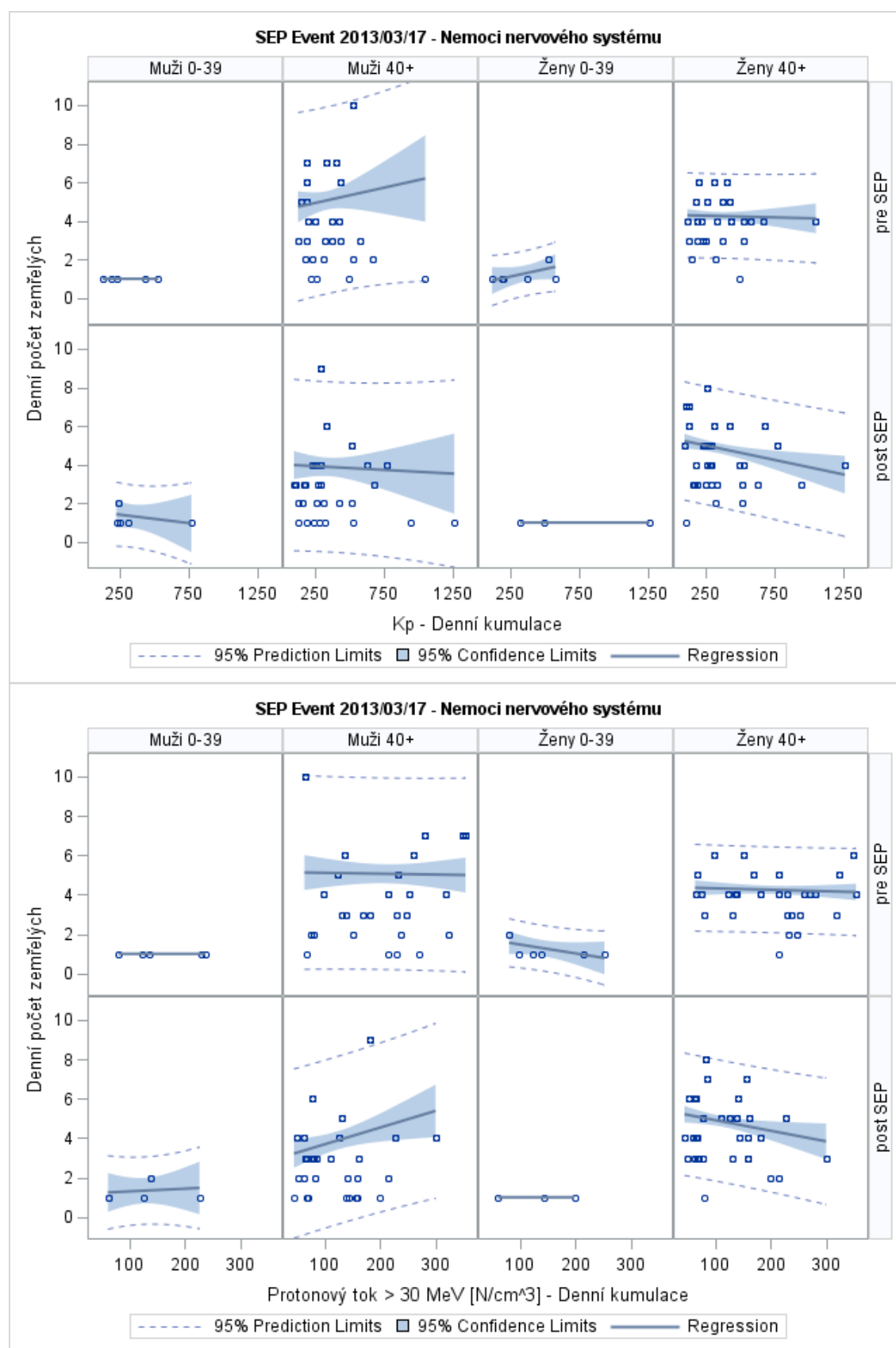
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



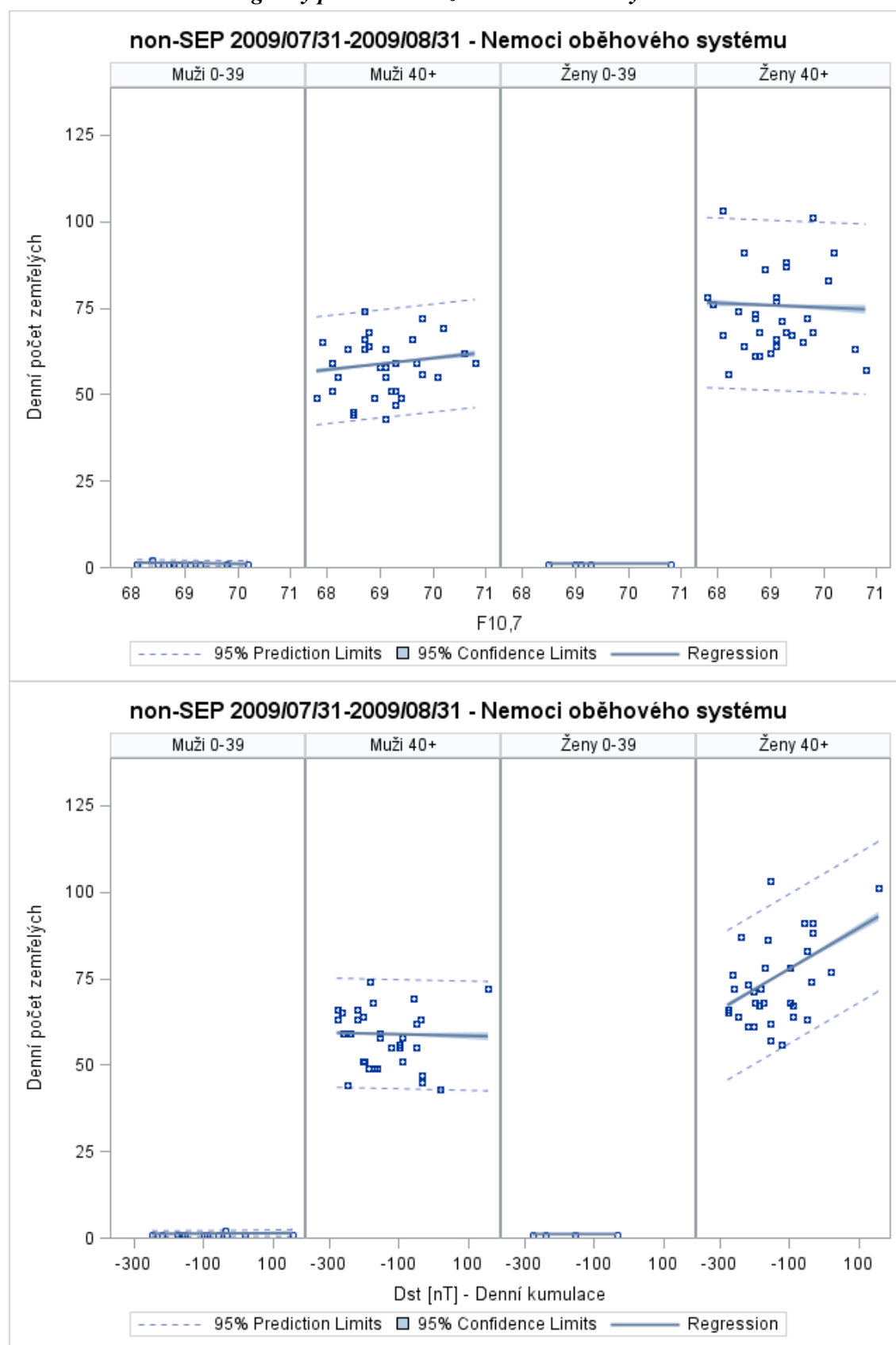
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



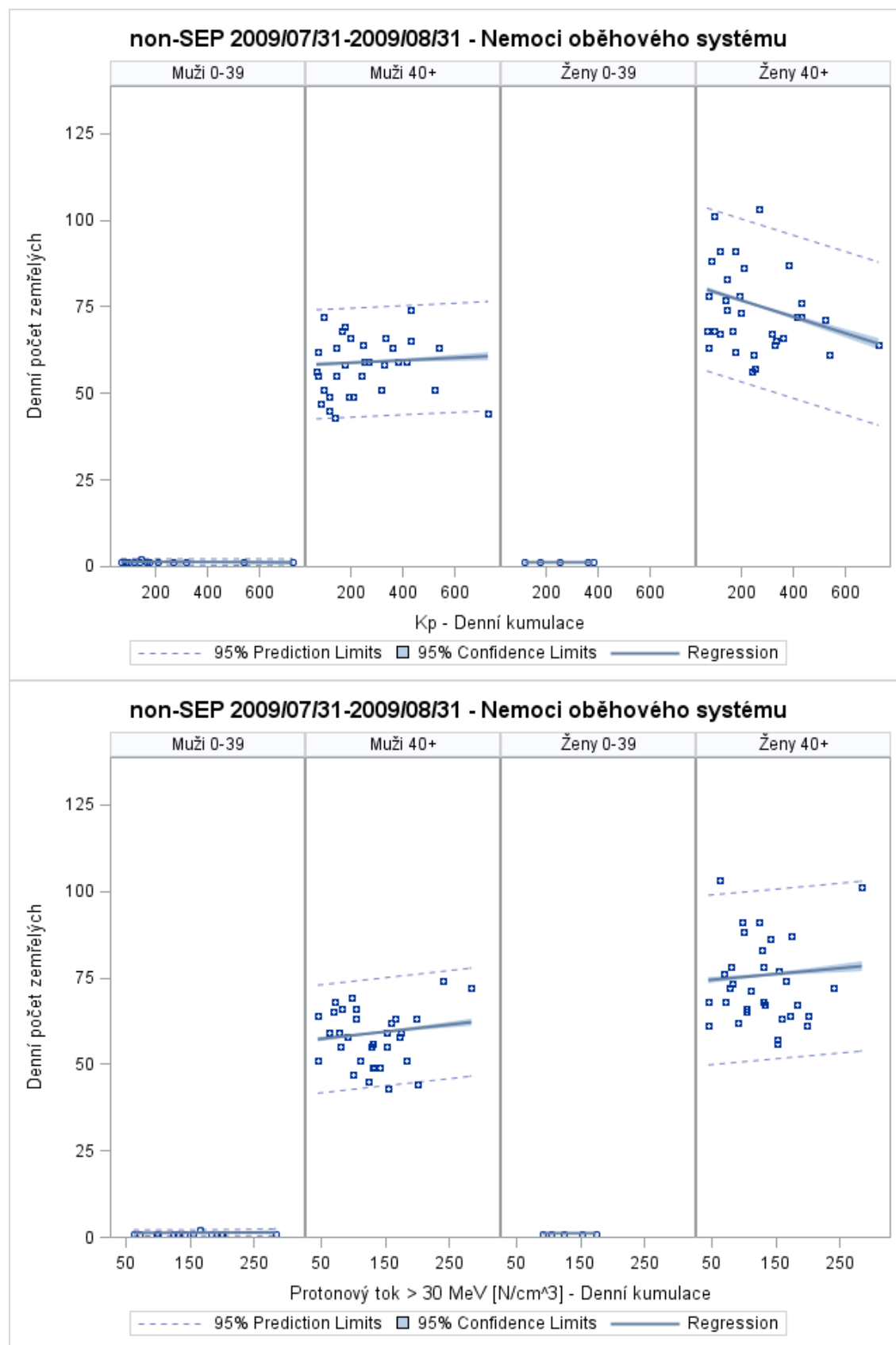
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



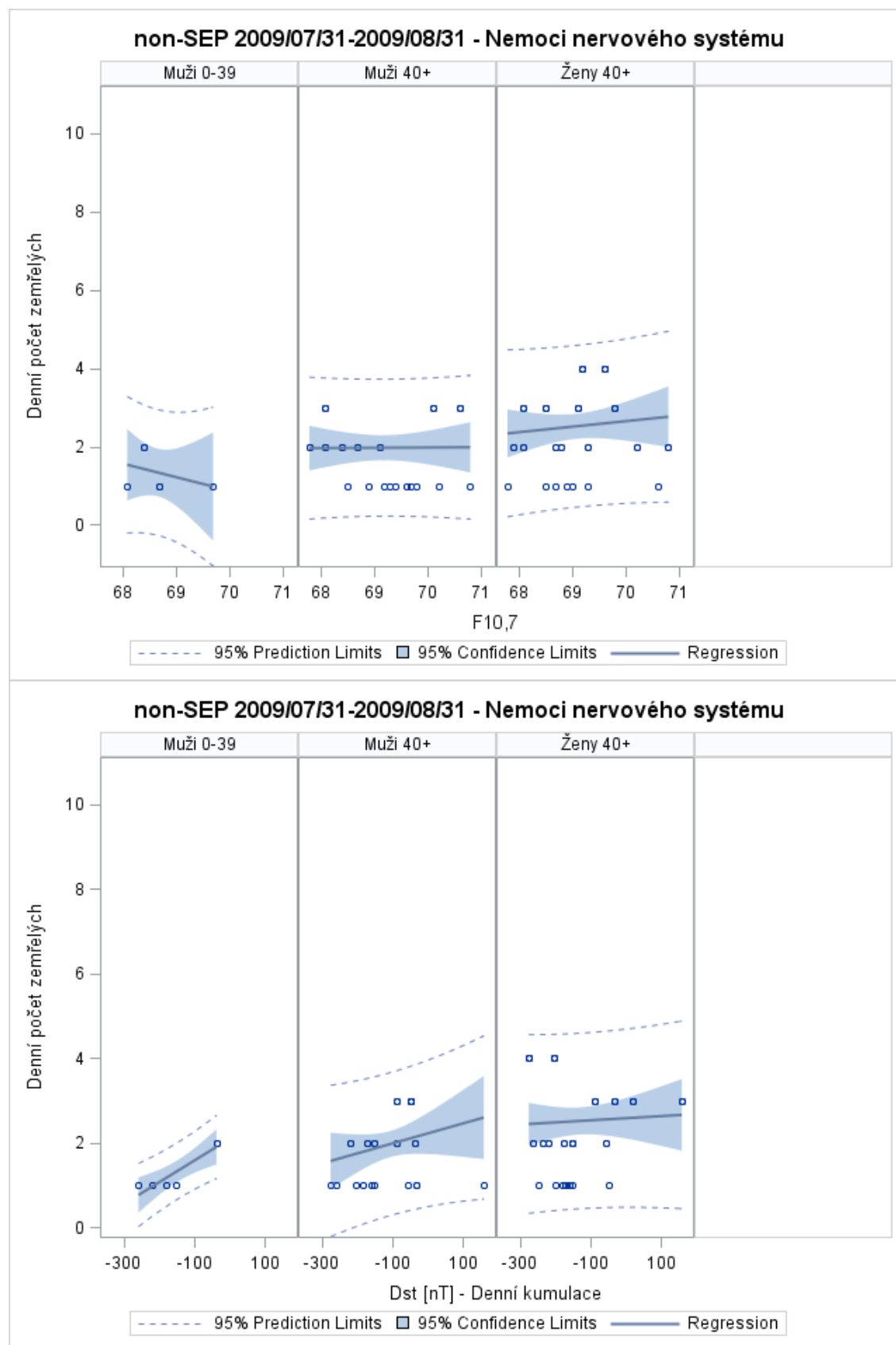
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.

Příloha 4 – Korelační diagramy pro období nízké sluneční aktivity

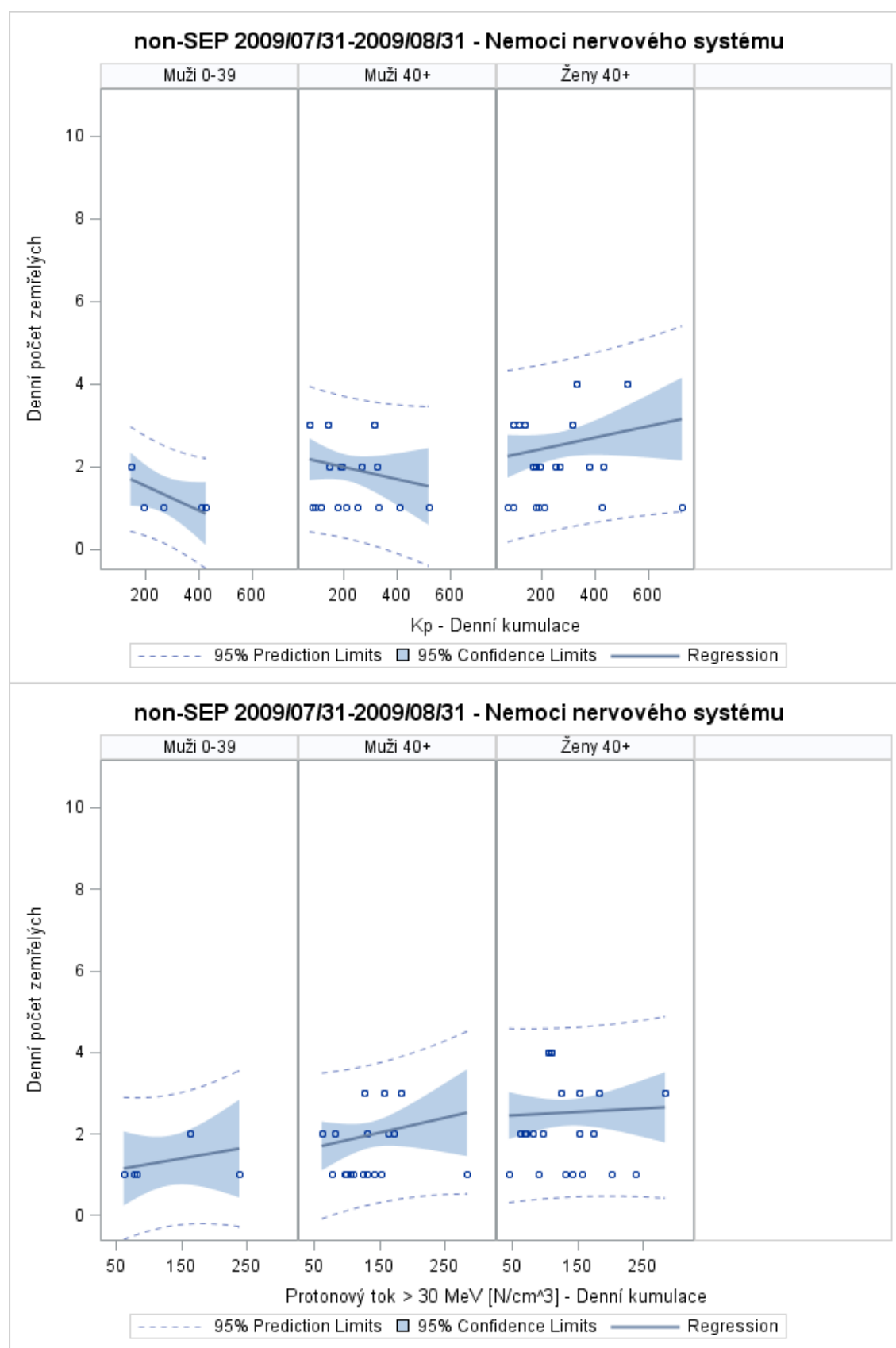
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



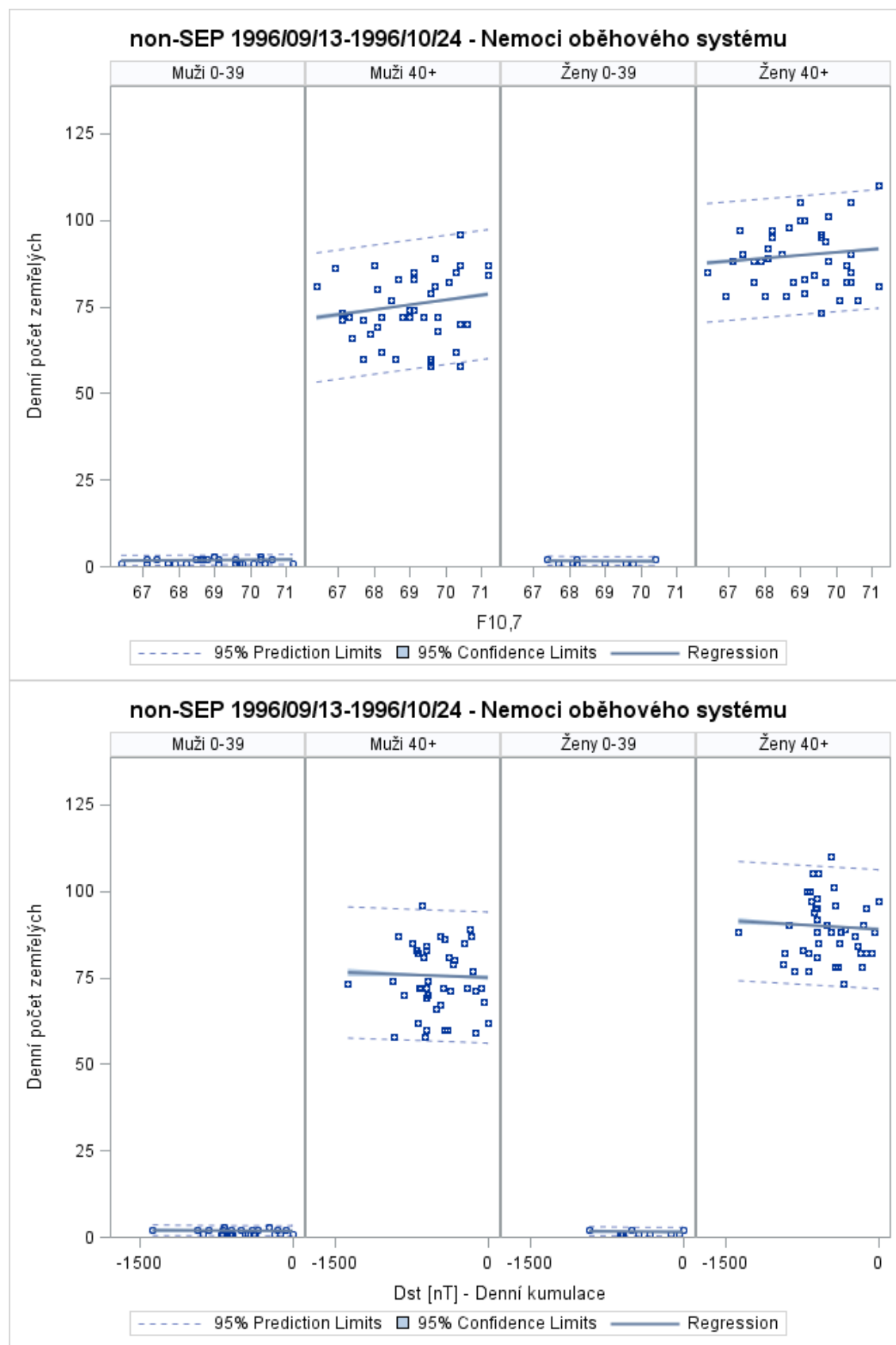
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



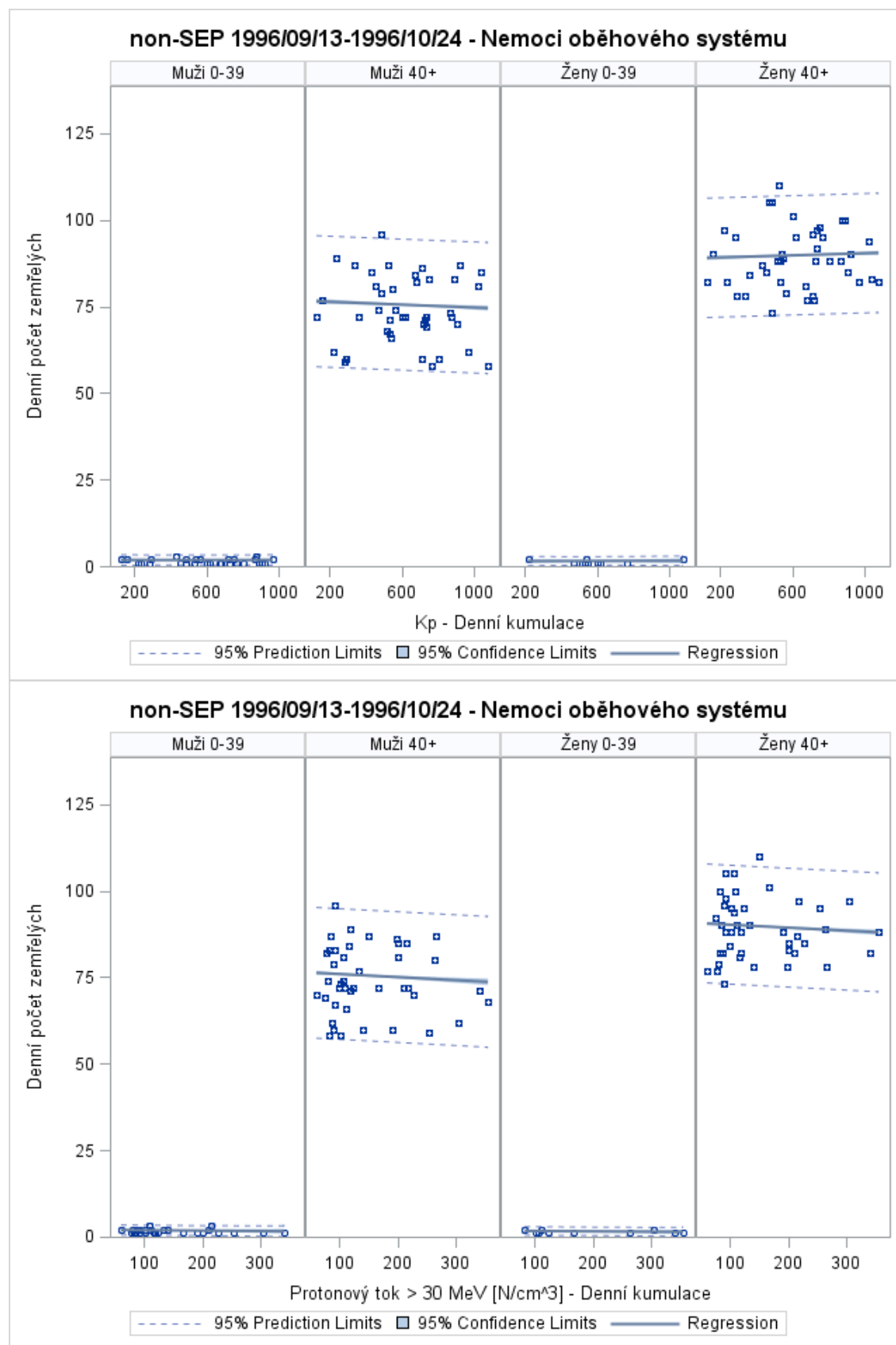
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



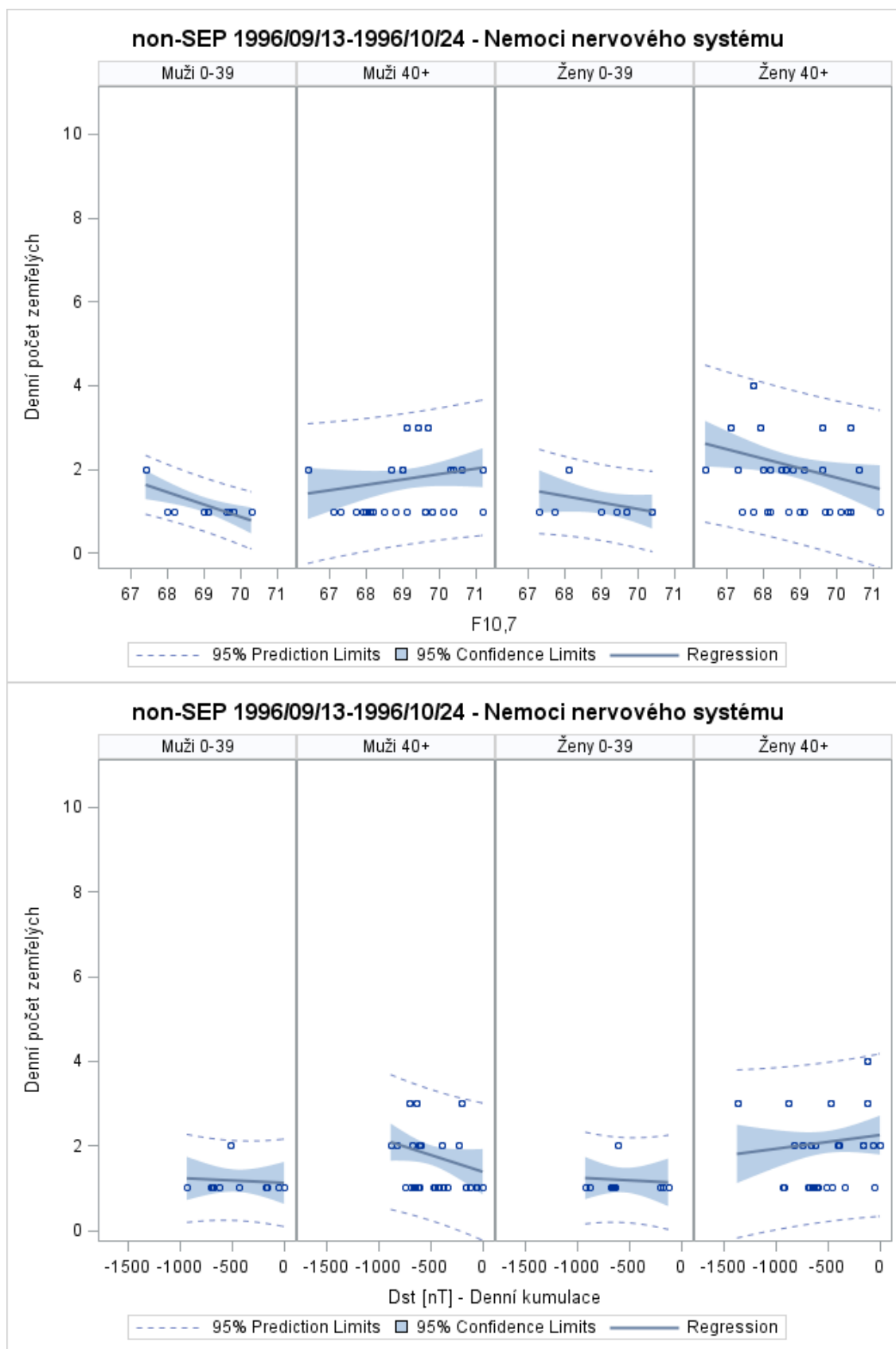
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



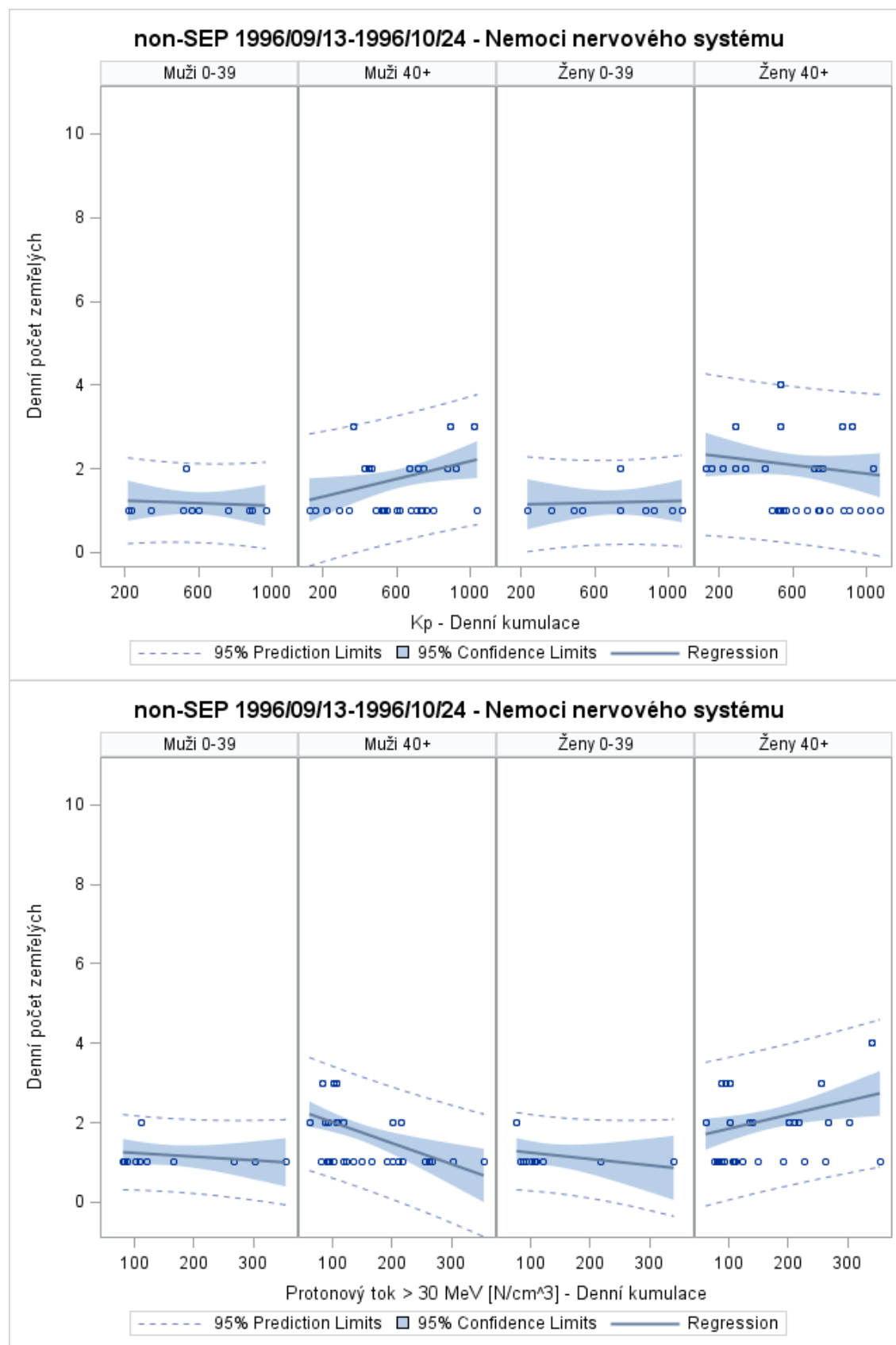
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



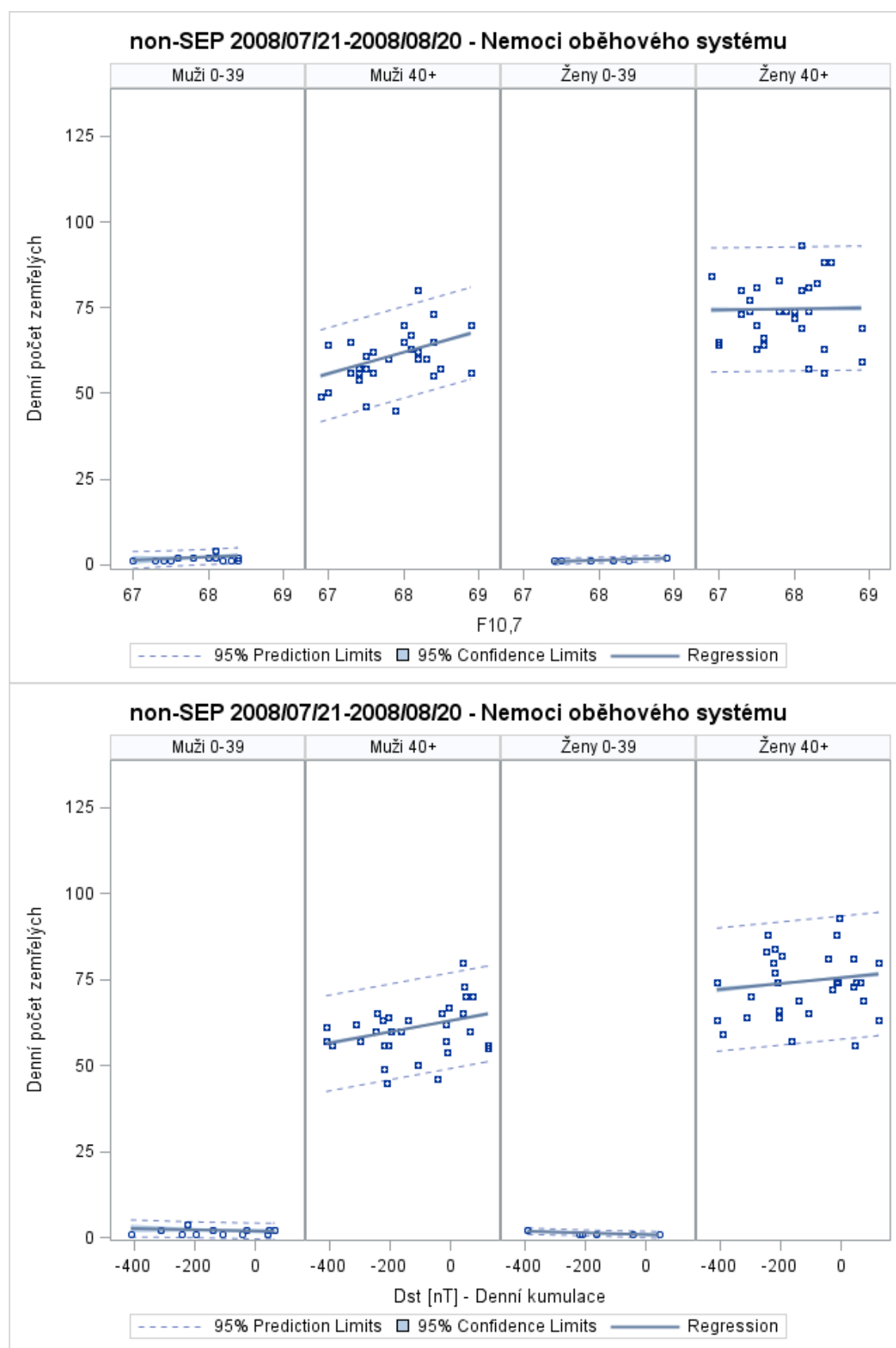
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



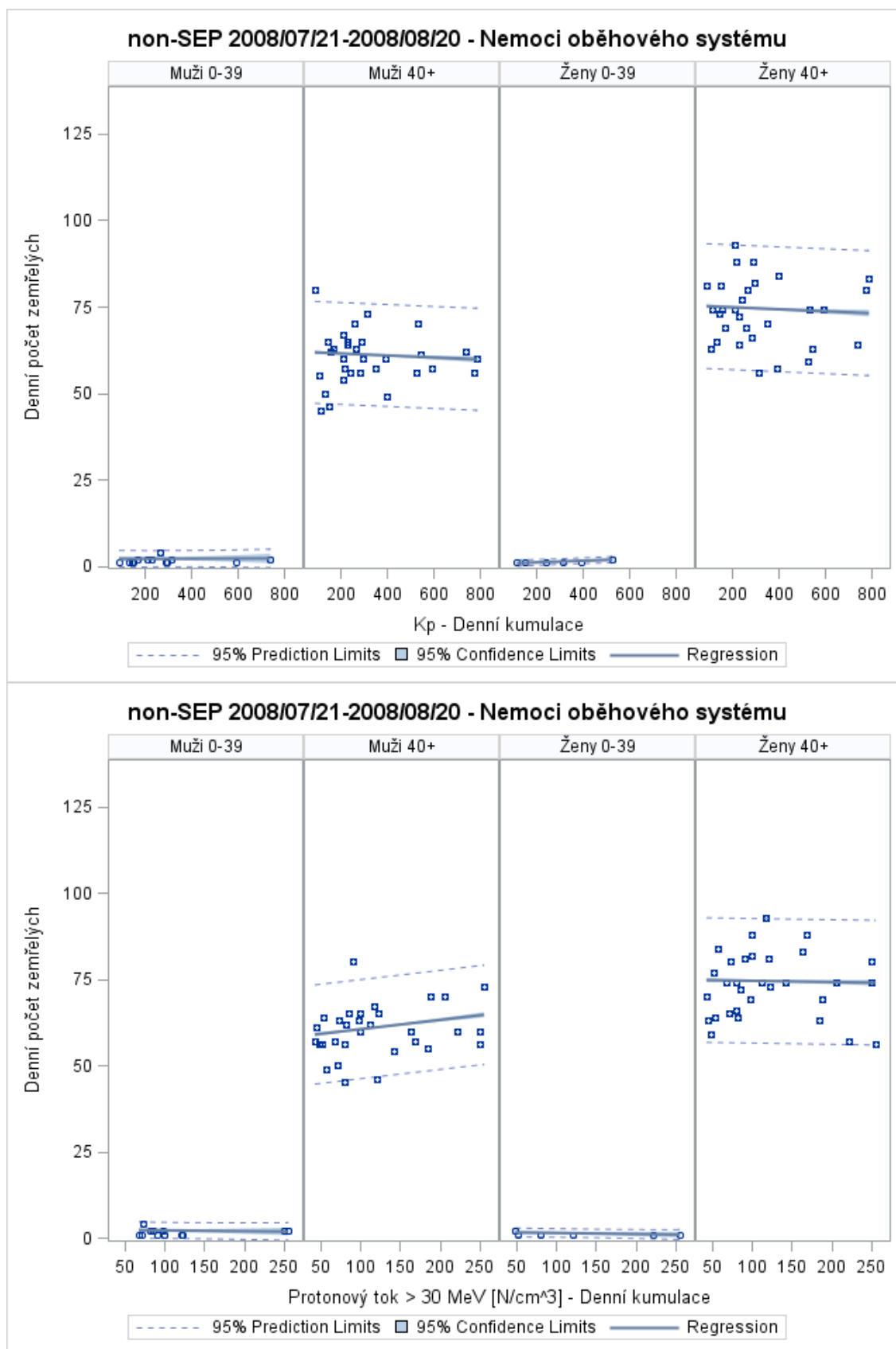
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



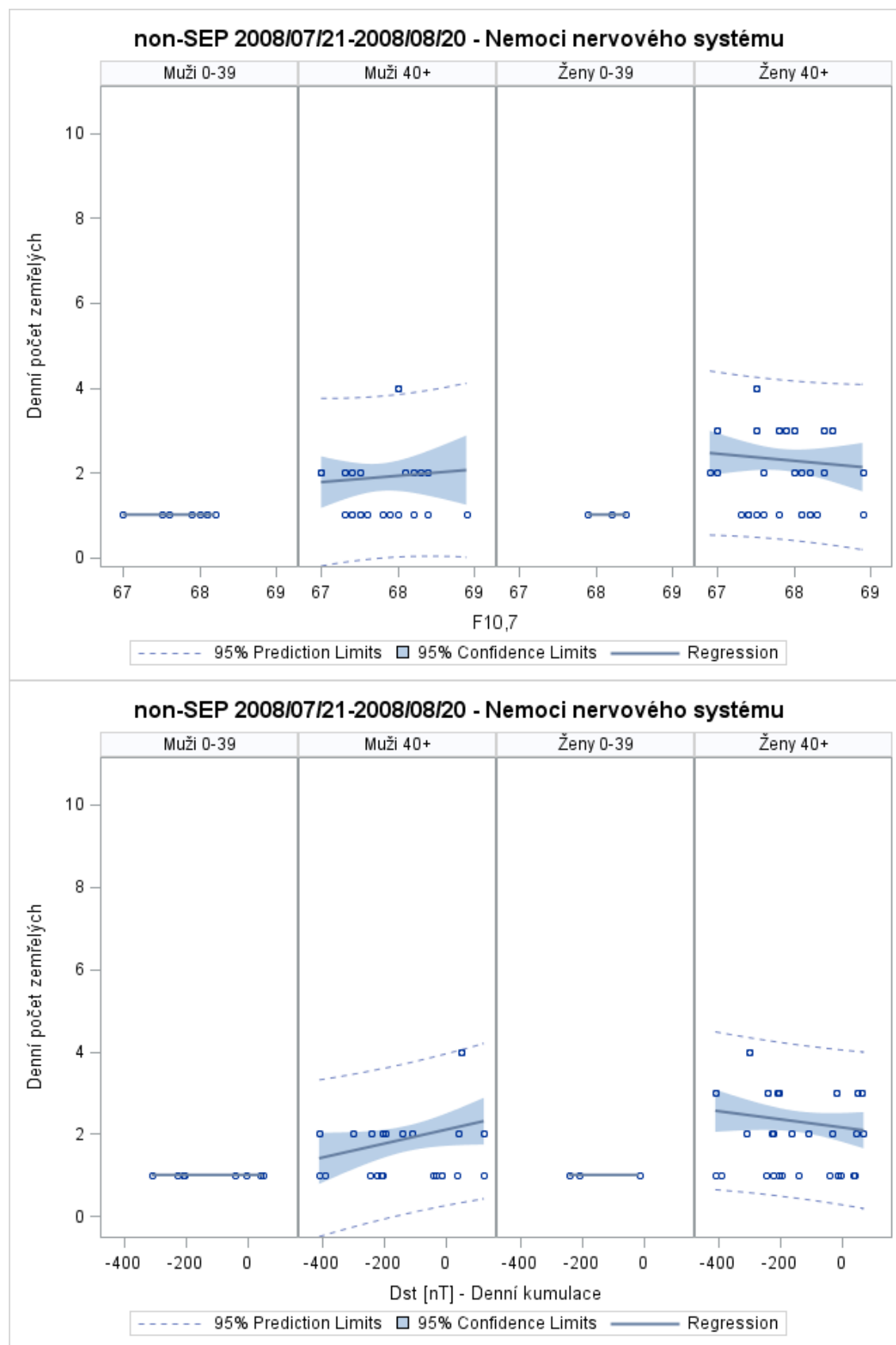
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



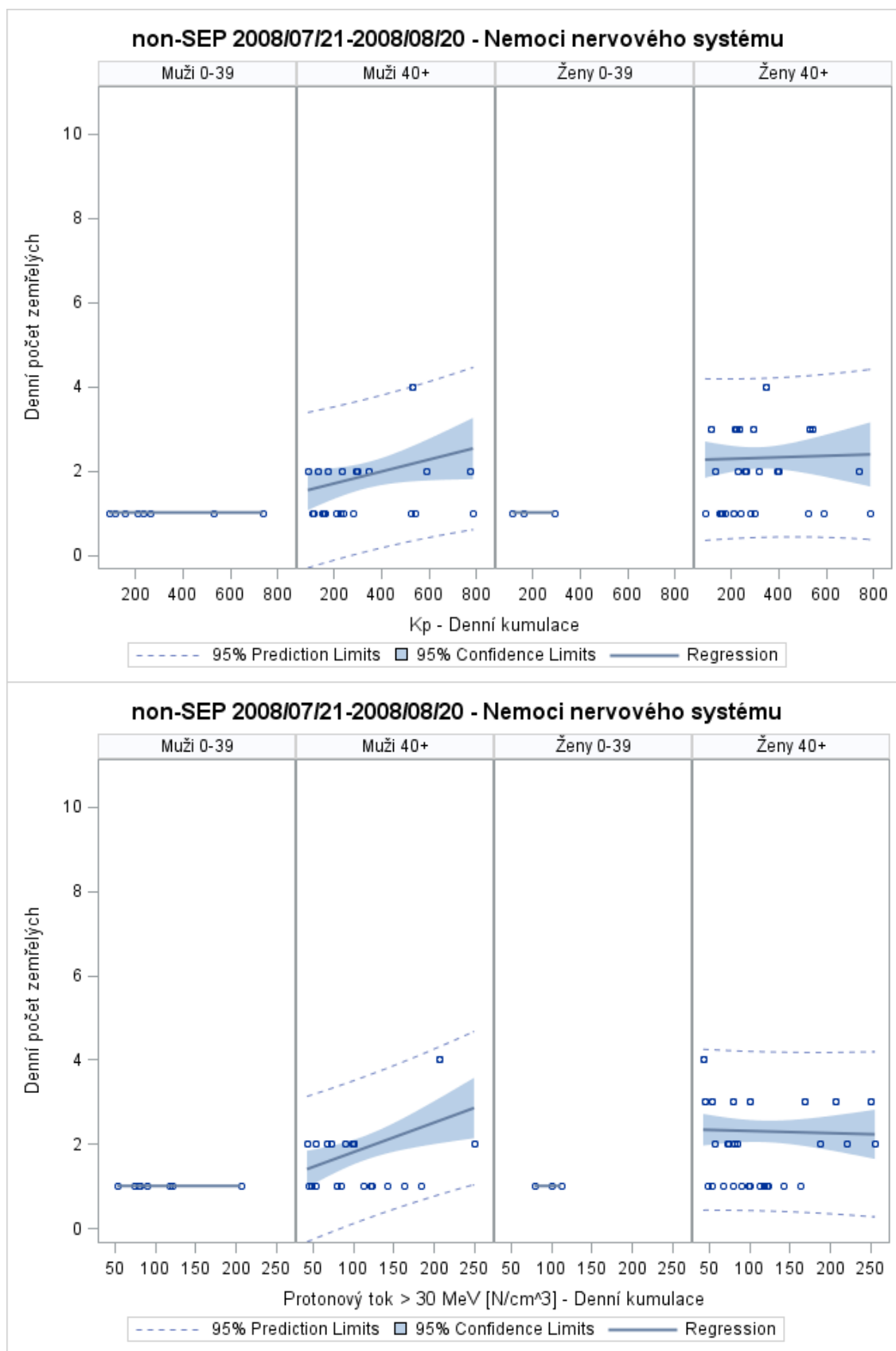
Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.



Zdroj: Vlastní výpočet z dat ČSÚ.